390
يوليو
2012

عالم المعرفة

(الجزء الثاني)

تاريخ العلم
1543 - 2001

تأليف: جون غريبين
ترجمة: شوقي جلال

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

عالم المعرفة

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978

أسسها أحمد مشاري العدواني (1923-1990) ود. فؤاد زكريا (1927-2010)

390

تاريخ العلم

2001 - 1543

(الجزء الثاني)

تأليف: جون غريبين

ترجمة: شوقي جلال

يوليو 2012

عالم المعرفة

سلسلة شهرية يصدرها
المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب

سعر النسخة

الكويت ودول الخليج	دينار كويتي
الدول العربية	ما يعادل دولارا أمريكيا
خارج الوطن العربي	أربعة دولارات أمريكية

الاشتراكات

دولة الكويت

للأفراد	15 د.ك
للمؤسسات	25 د.ك

دول الخليج

للأفراد	17 د.ك
للمؤسسات	30 د.ك

الدول العربية

للأفراد	25 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	50 دولارا أمريكيا

خارج الوطن العربي

للأفراد	50 دولارا أمريكيا
للمؤسسات	100 دولار أمريكي

تسدد الاشتراكات مقدما بحوالة مصرفية باسم المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب وترسل على العنوان التالي:

السيد الأمين العام
للمجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب
ص. ب: 28613 - الصفاة
الرمز البريدي 13147
دولة الكويت
تليفون: 22431704 (965)
فاكس: 22431229 (965)
www.kuwaitculture.org.kw

ISBN 978 - 99906 - 0 - 365 - 1

رقم الإيداع (2012/340)

العنوان الأصلي للكتاب

Science... A History

2001-1543

By

John Gribbin

Penguin Books, U.K. 2002

طُبع من هذا الكتاب ثلاثة وأربعون ألف نسخة

شعبان 1433 هـ - يوليو 2012

المحتوى

الكتاب الرابع

الصورة الكبرى

9

الثورة الداروينية

«إن المشكلة الكبرى فيما يتعلق بأصل الأنواع أصبحت واضحة الصياغة في عقلي.. إنني أؤمن إيمانا راسخا بأن أي دراسة كاملة ومدققة لحقائق الطبيعة ستقودنا في نهاية المطاف إلى حل هذا اللغز»

ألفريد رسل والاس

شهد القرن التاسع عشر كثيرا من التطورات الدرامية في العلم، لكن أهمها من دون أدنى شك فيما يتعلق بفهم مكان البشرية في الكون (والفكرة الأهم قاطبة في كل العلم) هي نظرية الانتخاب الطبيعي (Natural selection)، التي قدمت لأول مرة تفسيرا علميا لحقيقة التطور. ويقترن اسم تشارلز داروين دائما وأبدا بفكرة الانتخاب الطبيعي، وذلك عن حق وجدارة، ولكن ثمة اسمين آخرين هما تشارلز لييل وألفريد رسل والاس جديران بأن يقفا إلى جانبيه في وسط مسرح التطورية.

تشارلز لييل.. حياته

تشارلز لييل سليل أسرة ميسورة، ولكن تاريخ الثروة لا يكاد يتجاوز جيلين. إذ بدأت أصلا مع جده، ويدعى أيضا تشارلز

ليبل، المولود في فورفارشـــاير في أســكوتلندا العام 1734، وهذا المدعو تشارلز ليبل ابن مزارع، ولكن بعد وفاة أبيه تتلمذ على يدي كاتب حسابات، قبـــل أن يلتحق بالأســطول الملكي في العـــام 1756 باعتباره جنديا بحريا صاحب بنية جســدية قوية. وســاعده تدربه الســابق على أن يشغل على التوالي وظائف كاتب أو ســكرتير الكابتن، ثم مســاعد مدفعجي، وأخيرا ضابــط صف بحري، وهـــي الخطوة الأولى على الطريــق ليعمل ضابطا. ولكن لم يكن ليصبح نلسون آخر، واشتغل في العام 1766 ضابطا مسؤولا عن الشؤون المالية على متن سفينة صاحبة الجلالة الملكة، السفينة رومني. وســوف يقدر المعجبون بهوراتيو هورنبلــور (*) وروايات باتريك أوبرين ما هيأته وظيفة المســؤول عن الشــؤون المالية من الفرص لأكثر الناس أمانة لكي يعمروا جيوبهم - ذلك أن المســؤول عن الشــؤون المالية مســؤول عن شراء الإمدادات والتموين اللازم للسفينة التي يبيعها مقابل ربح للأسطول، وتمــادى الجد ليبل إلى أبعد من ذلك بأن ارتبط بمشــروع تجاري لتزويد ســفن الأسطول باحتياجاتها في موانئ شــمال أمريكا. وفي العام 1767 تزوج بمـــاري بيل، وهي فتاة مـــن ضاحية كورنوال فـــي إنجلترا، وأنجبت لـــه فـــي العام 1769 (في لندن) تشــارلز ليبل آخر، أصبــح فيما بعد أبا لعالم الجيولوجيا. وبحلول العام 1778، عمل تشارلز ليبل الأكبر سكرتيرا للأدميرال جون بايرون وضابطا مسؤولا عن الشؤون المالية لسفينة القيادة، ســفينة صاحبة الجلالة الملكة برنســيس رويال. ونتيجة للجهد الذي بذله أســطول بايرون ضد الفرنســيين في أثناء حرب الاستقلال الأمريكية (إذ إن مســاعدة الأسطول الفرنســي لقضية الثوار كان لها دور من شأنه أن يضمن خســارة البريطانيين لتلك الحرب) تلقى ليبل قدرا هائلا من المال هديةً له (**)، وأضاف هذا المبلغ إلى ما حققه من مكاسب أخرى في العام

(*) هو شخصية ضابط البحرية الملكية، بطل سلسلة روايات «سي أس فروست» [المحررة].

(**) عقب أســر ســفن العدو والاســتيلاء عليها غنيمة اشــتراها التاج (أو بيعت في الســوق الحرة)، وتقاسم المشاركون في العملية العائد وفقا لقواعد صارمة (نصيب الأسد للقائد البحري (الأدميــرال) بطبيعة الحال، والنصيب الأقل، إذا مــا توافر، لرجاله. وكان هذا هو الحافز الذي أقنــع الرجال بالخدمة في البحرية الملكية على الرغــم من الصعاب المهولة والأجر الضئيل. ولم ينــل غالبية الرجال جائــزة مالية ذات قيمة، بل إن بعضهم لم يحصل على شــيء، لكنهم رضوا بالقليل الذي يفوزون به.

1782 أي بعد ثلاث سـنوات من تقاعده عن العمل في الأسطول. وأصبح في إمكانه شـراء إقطاعيات في أسـكوتلندا تصل مساحتها إلى 5 آلاف فدان، علاوة على بيت رائع في كينوردي في فورفارشـاير (واسـمها الآن أنغوس). وتلقى ابنه تعليما جيدا يليق بمقام ومكانة ليبل الكبير المتعاظمة، وقضى زهاء العام في جامعة سـانت أندروز قبل أن ينتقل إلى بيترهاوس في كامبريدج العام 1787 .

وتعلم تشارلز ليبل الثاني تعليما جيدا (تخرج في الجامعة العام 1791 ثم درس القانون في لندن) وقام بأسفار عديدة، بما في ذلك رحلة سياحية طويلـة طاف خلالهـا بأنحاء أوروبا في العـام 1792، حيث زار في أثناء رحلتـه هذه باريس وهي في معمعة الثورة. وأصبح في العام 1794 زميلا فـي بيترهاوس، وتمثل هذه الزمالة علاقـة مفيدة لكل محام طموح، غير أن لندن ظلت مقره الأساسـي إلى أن توفي أبوه في يناير 1796، وهو في الثانية والسـتين من العمر. ولم يعد تشـارلز ليبل الثاني بحاجة الآن إلى ممارسـة مهنة المحاماة. وبعد عام تزوج بالآنسة فرانسيس سميث. وانتقل إلى كينوردي حيث أنجب تشارلز ليبل الجيولوجي يوم 14 نوفمبر 1797 .

ولكن تشارلز وفرانسـيس ليبل لم يتخذا من أسكوتلندا مستقرا لهما، وقبل أن يبلغ الطفل تشـارلز سـنته الأولى من العمـر انتقلوا إلى جنوب إنجلترا(*)، حيث اسـتأجروا بيتا كبيرا وقطعة أرض في نيو فورست غير بعيد عن سـاوثامبتون. وهناك شب وترعرع تشـارلز، ويحيط به أشقاؤه الأصغـر منه (إذ كان لدى الأسـرة في الواقع أخوان ومالا يقل عن سـبع أخوات). وتمثل نيو فورست، المكان الأساسي الذي نمى فيه الصبي اهتمامه بعلم النبات والحشـرات بينما كان يتابع تعليمه في المدرسة المحلية. ولكنه في العام 1810 انتقل إلى مدرسـة عامة متواضعة في ميدهرسـت ومعه أخوه الأصغر توم. وترك توم المدرسة في العام 1813 ليعمل ضابط صف بحري، بينما تم إعداد تشارلز الابن الأكبر، وتأهيله ليقتفي أثر أبيه.

وزار تشـارلز أسـكوتلندا في العـام 1815 مع أبويه وأختـه فاني (جولة إضافية ولكنها اشـتملت على زيارة ضياع الأسـرة التي سوف يرثها يوما ما)،

(*) تاركا أملاكه في إسكوتلندا بين يدي وكلاء له.

وبعد الزيارة اتجه إلى أكسفورد في فبراير 1816، والتحق بكلية اكستر كواحد من الوجهاء، وشغل كطالب جامعي أعلى مرتبة من حيث المكانة (والتكلفة). وصاحبته شهرته من حيث التميز الأكاديمي في الموضوعات التقليدية ذات التوجه الفني، والتحق بجامعة شرعت للتو (فقط للتو) في التحرر من سمعة استحقتها عن جدارة كمؤسسة لا تصلح إلا لتعليم قساوسة للبلدة (*). واكتشف لييل في نفسه كفاءة غير متوقعة في علم الرياضيات وأبدى اهتماما بالجيولوجيا بعد أن قرأ كتابا في مكتبة أبيه، هو كتاب روبرت بلاكويل بعنوان «مدخل إلى الجيولوجيا»، إما في أواخر العام 1816 وإما مطلع العام 1817، والمعروف أن بلاكويل كان من أنصار أفكار هاتون، وهكذا اطلع لييل من خلال كتاب بلاكويل على أعمال هاتون وواصل قراءاته ليطلع على كتاب بليفير. وهذه أول مرة يعرف من خلالها أن ثمة مبحثا علميا باسم الجيولوجيا، ومن ثم حرص على متابعة محاضرات عن علم التعدين يقدمها وليام بوكلاند (1784 - 1856) في جامعة أكسفورد خلال موسم صيف 1817، واستلهم بوكلاند بدوره اهتمامه من خلال العمل الرائد الذي ألفه وليام سميث (1764 - 1839)، حيث عمل وليام سميث مساحا للقنوات في أواخر القرن الثامن عشر ومطلع التاسع عشر، وأصبح بفضل هذا العمل على ألفة بطبقات الصخور في إنجلترا، وخبيرا في الاستفادة من الأحفوريات كمؤشر يدل على العمر النسبي لمختلف طبقات الأرض (أيها أقدم وأيها أحدث)، وإن لم يكن معروفا وقتذاك أي وسيلة لتحديد عمر الطبقات بدقة مطلقة. وسميث، الذي يعتبر اليوم «أب الجيولوجيا الإنجليزية»، هو من قدم أول خارطة جيولوجية عن إنجلترا، والمنشورة في العام 1815، هذا على الرغم من أن القسط الأكبر من مادته العلمية سبق أن تداولها زملاء له من أمثال بوكلاند. وقام بوكلاند نفسه ببعثة استكشافية طويلة في مختلف أنحاء أوروبا في العام 1816، وطبيعي أن توافرت لديه أنباء جديدة ومثيرة ليقدمها لطلابه على نحو ما يحدث الآن، حيث يعود محاضر في الجامعة من فوره من رحلة إلى الخارج زار خلالها أحد التلسكوبات الجبارة وقام بأعمال رصد للكون.

(*) هم بالضبط من نوع قساوسة البلدة الذين نقرأ عنهم في روايات جين أوستن - التي توفيت في العام 1814 وهو العام نفسه الذي بدأ فيه اهتمام لييل بالجيولوجيا.

لكن تنامي اهتمام لييل بالجيولوجيا لم يكن موضع رضا من أبيه، الذي شـعر بأن هذا قد يشغله عن دراسته للكلاسـيّكيات، بيد أن لييل انغمس في الجيولوجيا، بالإضافة إلى مواظبته على الاستماع لمحاضرات بوكلاند، فضلا عن أسـفاره فـي كل أنحاء بريطانيا (بما فـي ذلك زيارات جديدة لكل من أسـكوتلندا وإيست أنجليا)، غير قانع فقط بإمتاع عينيه بالمشاهد الجميلة. وفي صيف العام 1818، دعا تشـارلز لييل الكبير الأسرة ومعها تشـارلز لييل الصغير إلى رحلة سياحية على نفقته لزيارة أوروبا. وتهيأت الفرصة لتشارلز الأصغر لزيارة «حديقة النباتات» (Jardin des Plantes) (كما تسمى الآن) في باريس، وشاهد هناك عينات كوفيير كما قرأ أعمال كوفييـر عن الأحفوريات، وهي الكتب المودعة في مكتبته (وكان كوفيير في إنجلترا وقتذاك). وشملت الرحلة سويسرا وشمال إيطاليا، مما هيأ للفتى فرصة عظيمة لاستيعاب مباهج الجيولوجيا، فضلا عن استمتاعه بمباهج مدن جميلة مثل فلورنسا وبولونيا. وتخرج لييل في أكسفورد العام 1819، وهو في الحادية والعشـرين من العمر، فضلا عن انتخابه زميلا للجمعية الجيولوجية في لندن (لا تمثل تشريفا ذا قيمة كبيرة لأن أيا من السادة في ذلك الوقت لديه هواية الجيولوجيا في وسـعه أن يصبح زميلا، وإن كانت الزمالة في حد ذاتها مؤشـرا على توجه اهتمامات المرء)، وتمثل دراسـة القانـون الخطوة التالية علـى طريق الاقتداء بأبيه - بيد أن أول إشـارة تفيد بوجود مشـكلة من شأنها أن تنبئ بتغيير تلك الخطط بدت واضحة، بينما كان تشارلز عاكفا بجد واجتهاد على الدراسة استعدادا للامتحانات النهائية، إذ بدأت تضايقه مشكلات تتعلق بالإبصار وآلام صداع قاس.

وبعـد جولة أخرى في إنجلترا وأسـكوتلندا (جزء منهـا بصحبة أبيه وأختيه ماريان وكارولين)، أنهى لييل دراسته القانونية في لندن في فبراير 1820، لكن بدأ على الفور يعاني مزيدا من المشـكلات في عينيه، مما أثار الشـكوك بشأن قدرته على أن يؤسس مسـتقبله العملي في مهنة تستلزم انتباها شـديدا للتفاصيل الدقيقة في وثائـق مكتوبة بخط اليد (ولنتذكر أن هـذا كلـه جرى في زمن لم تكن فيه إنارة بالكهرباء). وشـاء تشـارلز لييـل الأكبر أن يهيـئ فرصة لعيني الابن لكي ترتـاح وتخفف من آلامها،

فاصطحب الابن إلى روما عبر بلجيكا وألمانيا وأستراليا. وظل الاثنان خارج البلاد من أغسطس وحتى نوفمبر، وبدا لفترة من الزمن أن أيام الراحة والاستجمام هذه حققت الهدف المنشود. عاد ليبل ليعاود دراساته القانونية، ولكن مشكلات عينيه عاودته أيضا، وفي خريف العام 1821 قام بزيارة طويلة لبيت الأسرة، بارتلي، في نيو فورست. وفي أكتوبر من العام نفسه قام بجولة سياحية ترفيهية على امتداد ساوث داونز، حيث زار مدرسته القديمة في ميدهرست وتعرف على غيديون مانتل (1790 - 1825) في لويس، ساسيكس، وكان مانتل جراحا وجيولوجيا هاويا (ولكنه ممتاز جدا)، وهو الذي اكتشف أنماطا عديدة من حيوان الديناصور. وعاد ليبل إلى لندن وإلى دراساته في القانون من آخر أكتوبر وحتى منتصف ديسمبر في العام 1821، لكن تلازم مشكلات عينيه وحبه للجيولوجيا يعني أن لا بد وأن تحدث قطيعة مع المهنة التي اختارها لمستقبله. وتوقف بالفعل في العام 1822 عن التفكير في اتخاذ المحاماة مهنة له. واستهل حياة البحث الجاد في مجال الجيولوجيا واختار جنوب شرق إنجلترا، وحفزته إلى ذلك محادثاته ومراسلاته مع صديقه الجديد مانتل.

ووضحت بشكل جلي في ذلك الوقت البنية الجيولوجية لإنجلترا وويلز، وذلك بفضل أعمال باحثين من أمثال وليام سميث (بينما تم أيضا رسم خارطة لامتداد القسمات الجيولوجية ذات الصلة في فرنسا)، وبدا واضحا أن طبقات الصخور بعد أن استقرت حدثت لها التواءات وانحناءات بفعل قوى مهولة. وبدا طبيعيا أن نفترض أن هذه القوى، وكذلك التي رفعت ما كان واضحا في الماضي أنه قيعان بحور لترتفع فوق سطح البحر، اقترنت بوقوع زلازل. ولكن على الرغم من بصيرة هاتون النافذة، كان الرأي السائد، والذي أصبح يدعمه علماء الجيولوجيا من أمثال وليام كونيبير (1787 - 1857)، يقضي بأن تلك التغيرات حدثت بفعل اضطرابات عنيفة قصيرة الأمد، وأن العمليات التي نرى نظيرا لها الآن على سطح الأرض غير كافية لإحداث هذا الأثر. وانخدع ليبل في مطلع عشرينيات القرن التاسع عشر بهذه الحجج على الرغم من أنه كان لايزال متأثرا بأفكار هاتون، وعلى الرغم أيضا من أنه تعلم الكثير من كتابات كونيبير عن أحدث الأفكار الجيولوجية.

واظـب ليبل عمليا على دراسـاته القانونية وأنجز فيها ما يكفي ليقف مدافعا أمام المحكمة في مايو 1822، ولكي يمارس بعد ذلك مهنة المحاماة أمـام المحاكم العليا (ولكن لفترة وجيزة وعلى نحـو عابر)، لكنه في العام 1823 لم يقنع بزيارة باريس لمرة ثانية فقط (حيث التقى هذه المرة كوفيير، الذي لايزال باحثا معنيا بدراسـة التغيرات الفجائية الكارثية في القشرة الأرضية Catastrophist)(*)، بل شـارك فـي إدارة الجمعية الجيولوجية، حيـث عمل أول الأمر أمينا لها ثم بعد ذلـك أمينا من الخارج، وبعد ذلك بفتـرة طويلة تولى رئاسـتها لمدة دورتين. وتميزت هـذه الرحلة بأهميتها العلمية البالغة (حيث اسـتمع ليبل للعديد من المحاضرات في الجاردان - حديقة النباتات - فضلا عن اجتماعه مع عديد من العلماء الفرنسـيين)، وعلاوة على الأهمية العلمية لهذه الرحلة التي تمت في العام 1823، فقد كانـت ذات أهمية تاريخيـة أيضا، لأنها المرة الأولى التـي يعبر فيها ليبل القناة الإنجليزية على متن سـفينة تجارية وهي سفينة تجارية تحمل اسم «إيرل أوف ليفربول»، التي حملته مباشـرة مـن لندن إلى كالي في إحدى عشـرة سـاعة فقط، من دون انتظار حتى تهب ريـاح مواتية. وتمثل هذه السـفينة خطوة تكنولوجية صغيرة، ولكنها يقينـا إحدى العلامات الأولى المبشرة بتسـارع تطور الاتصالات على قطاع الكوكب، والذي من شأنه أن يغير العالم.

وبـدأ عالم ليبل الخاص يتغير في العـام 1825، وهو العام الذي بدأ يمارس خلاله مهنة المحاماة أمام المحاكم العليا. إذ طلبت منه مجلة كوارترلي رفيـو Quartlerly Review أن يكتب لها، وهـي مجلة كان يصدرها جون موراي، وبدأ ليبل يسـهم فيها بكتابة مقالاته وعروض كتب عن موضوعات وقضايـا علمية، من مثل اقتراح بإقامة جامعة جديدة في لندن. وتبين أنه يتمتع بموهبة الكتابة، ولعل ما هو أفضل من ذلك أيضا أن كوارترلي دفعت له مكافآت مالية مقابل إسهاماته. وجدير بالذكر أن عائد أعمال ليبل في مجال المحاماة كان قليلا جدا (وليس واضحا حتى ما إذا كان يفي بنفقات المهنة أم لا)، بينما الكتابة مكنته وللمرة الأولى أن يحقق لنفسـه درجة من

(*) Catastrophism، أو الكوارثيـة، هو مذهب فـي الجيولوجيا يرى أن التغيرات الكبيرة في قشرة الأرض هي نتيجة الكوارث، لا نتيجة لعمليات التطور [المحررة].

الاستقلال المالي عن أبيه وليس ذلك لأن أباه اعتاد أن يمارس أي ضغوط عليه، إنما لأن هذا الاستقلال يمثل خطوة مهمة في حياة الشاب. وأفادت مجلة كوارترلي أيضا بأن جعلت اسم لييل يلفت أنظار دائرة واسعة من المتعلمين، وهو ما فتح له آفاقا جديدة. وإذ اكتشف موهبته ككاتب، فقد قرر في مطلع العام 1827 تأليف كتاب عن الجيولوجيا ومن ثم شرع في تجميع المادة العلمية اللازمة لإنجاز مشروعه. وهكذا تهيأت له فكرة تأليف الكتاب بعد أن أثبت لييل جدارته ككاتب، وتحقق له كل هذا قبل أن يشرع في أهم وأشهر بعثة استكشافية جيولوجية له في العام 1828 .

أسفاره في أوروبا ودراسة الجيولوجيا

تحمل الرحلة الاستكشافية أصداء الرحلة الاستكشافية العظيمة التي قام بها جون راي لدراسة النباتات خلال القرن السابق، وبدا واضحا أن التغيرات التي طرأت على أمور الحياة لاتزال بسيطة على الرغم من ظهور القارب البخاري. وسافر لييل في مايو 1828 قاصدا باريس أولا، حيث أعد للقاء مع عالم الجيولوجيا رودريك مورشيسون (1792 - 1871)، وسافر الاثنان معا بعد ذلك في اتجاه الجنوب عبر منطقة أوفيرن في وسط فرنسا ثم بمحاذاة ساحل البحر المتوسط إلى إيطاليا، وسجل لييل مذكرات مطولة عن القسمات الجيولوجية التي التقاها وصديقه. وفي نهاية شهر سبتمبر عاد مورشيسون (الذي كان بصحبة زوجته) من بادوا إلى إنجلترا، بينما أسرع لييل إلى صقلية، وهي أقرب موقع للنشاط البركاني والزلازل بالنسبة إلى قارة أوروبا. وشاهد لييل في صقلية بخاصة ما أقنعه بأن الأرض شكلتها في السابق هذه العمليات ذاتها التي نراها مؤثرة وفاعلة الآن، والتي وقعت على مدى فترات زمنية طويلة جدا. وجدير بالذكر أن الدراسة الميدانية التي قام بها لييل هي التي قدمت الدليل المادي على صدق الفكرة التي حدد هاتون معالمها الأولى. وشاهد في إتنا، من بين أمور أخرى، قيعان بحار ارتفعت عن سطح البحر بنحو 700 قدم أو أكثر، وقد فصلت بين طبقاتها تدفقات الحمم البركانية، ورأى في أحد المواقع:

> دلالة واضحة على طول الفترات الزمنية التي فصلت بين حين وآخر بين تدفقات تيارات الحمم البركانية المتمايزة. طبقة من المحار (المتحجر)، والمطابق تماما للنوع الشائع لدينا ونأكله، بسمك لا يقل عن عشرين قدما، واستقر فوق تدفقات الحمم البركانية البازلتية، وتعلو فوق طبقة المحار كتلة ثانية من الحمم البركانية مختلطة بحجر من رماد البركان المضغوط المسمى التوف أو بيبرينو (tuff or peperino) ونحن لا يسعنا إلا أن نلتزم بالمفهوم الراسخ والأثير لدى القدماء عن هذا الجبل (إتنا)، وذلك حين نرى ونتأمل قاعدته التي يصل محيطها إلى تسعين ميلا، معنى هذا أنه لا بد أن حدثت تدفقات للحمم البركانية عددها تسعون مرة، ويصل عرض كل منها ميلا عند نهايتها، بحيث يعلو سفح البركان كما نراه الآن مما يساوي متوسط ارتفاع المرة الواحدة من تدفقات الحمم البركانية (*).

إن هذا النوع من الكتابة الواضحة، فضلا عن البرهان القوي الذي استند إليه لدعم قضيته هو ما جعل كتاب لييل حدثا مثيرا للدهشة لدى كل من علماء الجيولوجيا وجمهور المتعلمين. ونظرا إلى أن إتنا (وكل صقلية في الواقع) حديث التكوين، فقد أدرك لييل أن النباتات والحيوانات الموجودة بها لا بد أنها أنواع هاجرت إليها من أفريقيا أو أوروبا وتكيفت مع ظروف الحياة التي تحيط بها هناك. كذلك لا بد أن الحياة ذاتها ومن خلال تكيفها مع البيئة المتغيرة لكوكبنا، صاغتها بشكل أو بآخر القوى الجيولوجية، بيد أنه عجز عن أن يوضح كيف حدث ذلك.

ينشر كتابه مبادئ الجيولوجيا

وبحلول شهر فبراير 1829، عاد لييل إلى لندن التي بدت كما اعتاد أن يراها في حالة جيدة، وذلك بعد رحلة طويلة باعدت بينه وبين وثائقه القانونية، وحيث استمتع بقدر كبير من النشاط البدني. ولم يشأ بعد

(*) الاقتباس من كتاب «مبادئ الجيولوجيا».

عودتــه أن يضيع وقتا، إنما عكف على إنجــاز كتابه. واعتمد لييل اعتمادا كبيــرا على دراســته الخاصة الميدانيــة، مثلما اعتمد بالقدر نفســه على أعمال الجيولوجيــين في مختلف أنحاء القــارة الأوروبية، وهكذا توافرت لديه رؤية شــاملة للموضوع على نحو لم يتيســر لأحد من قبل ممن كتبوا فيه. ووقع اختياره على جون موراي، ناشــر مجلــة كوارترلي، ليقدم المادة العلميــة للجمهور، وواظب لييل على إعادة تحرير كتابه حتى بعد دفعه إلى المطبعة، وصدر المجلد الأول من كتاب «مبادئ الجيولوجيا» في يوليو1830 (ويلاحظ أنه اختار هذا العنــوان عامدا ليكون صدى مقابلا لكتاب نيوتن «البرينكيبيــا»). وحقــق المجلــد الأول نجاحا فوريا (*). وعلــى الرغم من المشــاحنات التي دارت بين لييل وموراي بشــأن الجانب المالي، فإن الناشر تعامل في الواقع مع المؤلف معاملة جيدة وفقا لمعايير تلك الأيام، بحيث إن العائد الذي حصل عليه لييل من كتابه كفل له عمليا اســتقلالا ماليا، وإن واصل أبــوه في تزويده بمخصصات مالية. وقام بدراســة ميدانية جديدة تركزت أساسا في إسبانيا هذه المرة. وبعد هذه الدراسة صدر المجلد الثاني مــن كتاب «مبادئ» في يناير 1832، ولم يكن المجلد الثاني نجاحا في ذاته فقط، بل إنه أنعش مبيعات المجلد الأول.

ولم يكن العمل الميداني فقط السبب في تأخر صدور المجلد الثاني بعد الأول. إذ في العام 1831، أنشأت كنغز كوليج في لندن كرسيا للجيولوجيا، وسعى لييل ونجح في مسعاه لشغل المنصب (على الرغم من بعض المعارضة من قبل ممثلي الكنيســة ممن يساورهم قلق بشأن آرائه عن عمر الأرض)، وقدم سلسلة من المحاضرات التي لقيت نجاحا كبيرا (واستن بدعة جديدة حين ســمح للنســاء بحضور بعضها)، بيد أنه اســتقال فــي العام 1833 لكي يتفرغ للكتابة التي وجدها مريحة أكثر، فضلا عن أنه في ممارســته للكتابة يكون أمره بيده وسيد نفسه من دون الالتزام بأعمال تستنفد وقته. وأصبح أول شخص يكسب معيشته ككاتب علمي (على الرغم من المساعدة المحدودة التي تأتيه من ثروة العائلة).

(*) العنوان الفرعي المكتوب في الصفحة الأولى للعنوان الداخلي للكتاب نصه كالتالي: «محاولة لتفسـير التغيرات التي طرأت على سطح الأرض في السابق، بالإشارة إلى أسباب فاعلة ومؤثرة الآن». وهكذا لم يدع مجالا لأدنى شك يراود ذهن من يشتري الكتاب بشأن نوايا لييل.

وظهرت له شواغل أخرى شغلته. إذ في العام 1831، ارتبط ليل بخطيبته ماري هورنر، وهي ابنة عالـم الجيولوجيا ليونارد هورنر (1786 - 1864)، وشـاركته اهتماماته الجيولوجية، الأمر الذي خلـق رباطا وثيقا غير مألوف وعلاقة سـعيدة بينها وبين تشـارلز. وتزوج الاثنان في العام 1832، بعد أن زاد أبـوه المخصصـات المالية التي يقدمها إلى ليل من 400 إسـترليني إلى 500 إسـترليني في السنة، بينما أتت ماري معها باستثماراتها التي تغل 120 إسـترلينيا سـنويا. وأصبح الزوجان بفضل هذا كله، عـلاوة على دخل ليل المتزايد باطراد من الكتابة، في حالة من الرخاء ورغد العيش (مع العلم أنهما لم ينجبا أطفالا)، وأصبح بذلك كرسي الأستاذية في كنغز كوليج مصدر إزعاج يشـغله عن الكتابة، وليس مصدر دخل مهم. ثم هناك السياسة. إذ مع نهاية العـام 1830، انتهى نصف قرن من حكم حـزب التوري في بريطانيا، وتولى السلطة حزب الويغ، الذي تعهدت حكومته بإصلاح البرلمان. وكانت هذه فترة قلاقل واضطرابات في كل أوروبا، وسبق أن قام العمال الزراعيون في إنجلترا العام 1830 بأحداث شـغب احتجاجا على فقدهم عملهم بسبب إدخال نظام جديد لاسـتخدام الآلات فـي الزراعة. وامتلأ الجو برائحـة الثورة الممتدة، عـلاوة على أن ذكريات الثورة الفرنسـية لاتزال ماثله فـي الأذهان. وجدير بالذكر أن الإصلاحات التي طالب بها حزب الويغ، التي كانت رائجة ومطلوبة على نطاق واسـع من الجماهيـر تضمنت إلغاء نظام البلـدات ذاتية الحكم الفاسـد العفن. ولكن التشريع اللازم لذلك رفضه مجلس اللوردات. وأجريت جولة انتخابية اسـتثنائية أوضحت، على الرغم من فساد نظام البلدات ذاتية الحكم، توافر مؤشـرات مهمة على إرادة الشعب، وجرت انتخابات استثنائية حاسمة في سـبتمبر 1813، في فورفارشاير (وتصادف أن تشارلز ليل كان وقتها في عطلـة في كينوردي). وكان في الدائـرة الانتخابية آنذاك أقل من تسـعين ممن لهم حق الانتخاب (ملاك أراض من بينهم تشـارلز ليل الكبير وأبناؤه)، ولم يكن هناك اقتراع سري، ومن ثم أمكن حساب وتقدير كل صوت انتخابي. وعرف القاصي والداني من صوت ولمن وكيف. وصوت تشارلز ليل لمصلحة مرشـح حزب التوري الذي فاز بفارق ضئيل جدا، بينما تشارلز ليل الـذي يعنينـا هنا امتنع عـن التصويت. وكان هذا عاملا رئيسـيا في إرجاء

الإصـــلاح البرلماني، فضـــلا عما أدى إليه من آثار أضـــرت باحتمالات ترقي تـــوم لييل، الذي يشـــغل ضابط ملازم في البحرية الملكيـــة، إذ كان توم يعتمد علـــى رعاية حزب الويغ لضمان ترقيته (نظرا إلـــى أن القيادة البحرية العليا فـــي أيدي قادة عينتهم حكومة الويغ)، وهكذا أصبح معروفا عنه أنه ابن رجل صوت لمصلحة حزب التوري في اللحظة الحاسمة.



28 - رسم تخطيطي يوضح سانتوريني، من كتاب لييل «مبادئ الجيولوجيا» المجلد 2، 1868

أفكار لييل عن الأنواع

تحـــول انتباه لييل إلى لغز الأنواع بعـــد أن ظهر الجزء الثاني من كتاب «المبادئ»، والذي خلص في ختامه إلى نتيجة مؤداها:

> ربما كان لكل نوع أصله الذي نشأ عنه، والمتمثل في زوج وحيد أو في فـــرد، حيثما يكون الفـــرد كافيا لذلك، وربما كذلـــك تم خلق الأنواع في تعاقب فـــي أزمنة بعينها وأماكن بعينها تمكنها من التكاثر وتحمل البقاء لفترة معينة، وتشغل مكانا بعينه على ظهر الكوكب.

لم تكن رؤية لييل وقتذاك مختلفة كثيرا عن العقيدة الســـائدة بشـــأن فاعليـــة الرب وتدخله في كل شـــيء، أو عن قصة ســـفينة نوح. وحري بنا

أن نلحظ أن هذا الفرض يتضمن صراحة فكرة تبدو واضحة من خلال سجل أحفوريات ثلاثينيات القرن التاسع عشر، وتشير إلى أن أنواعا كثيرة عاشت يوما ما على ظهر الأرض، ولكنها اندثرت وحلت محلها أنواع أخرى. وعلى الرغم من التزام ليل بروح زمانه، فإنه احتفظ بمكان للبشرية، إذ اعتبر نوعنا فريدا أو متمايزا عن المملكة الحيوانية. بيد أنه ذهب عن يقين إلى أن سبب اندثار الأنواع هو التنافس على الموارد من مثل الطعام مع الأنواع الأخرى.

صدر المجلد الثالث من «المبادئ» في أبريل 1833، وحرص ليل طوال بقية حياته على ضمان بقاء سفره الضخم حديثا دائما، ومن ثم أعاد تحريره ليصدر طبعات جديدة الواحدة تلو الأخرى وصدرت الطبعة الثانية عشرة والأخيرة بعد وفاته في العام 1875، إذ توفي ليل في لندن في 22 فبراير من العام نفسه (قبل وفاة زوجته بسنتين)، ووافته المنية بينما هو عاكف على ما أصبح مراجعاته الأخيرة للكتاب. وصدر كتابه «عناصر الجيولوجيا» في العام 1838 ويعتبر أول مرجع دراسي حديث عن الجيولوجيا، ويعتمد في مادته على كتاب «المبادئ»، وطرأت عليه هو أيضا عمليات تشذيب وصقل. وجدير بالذكر أن عشق المراجعة على هذا النحو لم يكن بسبب أن الجيولوجيا في واقع أمرها موضوعا سريع التطور وقتذاك(*)، لكن هوس ليل بأن يضمن بأن يكون الكتاب على أحدث طراز، وإدراكه أنه المصدر الرئيسي للدخل (يقينا كان هذا دأبه إلى أن توفي أبوه في العام 1849، وهو في عام ذروة ذهب كاليفورنيا) (**)، سواء من المبيعات أو الحفاظ على صورته ككاتب علمي وضمان الثناء الذي يلقاه باعتباره رائد علم الجيولوجيا في

(*) على الرغم من أنها كانت كذلك يقينا، فإن أقرب بحث علمي مناظر لها سواء من حيث صورة دراما العلم ومستوى الاهتمام الشعبي بالموضوع، هو علم نواميس الكون «الكوزمولوجيا» في أواخر القرن العشرين.

(**) The California Gold Rush، هي الفترة بين 1848 و1855، بدأت باكتشاف الذهب من قبل جيمس و. مارشال في كولوما، كاليفورنيا، وكانت كاليفورنيا آنذاك جزءا من الأراضي المكسيكية، وقد أثر هذا الاكتشاف في نمو سان فرانسيسكو من مستوطنة صغيرة من نحو 2000 نسمة العام 1846 إلى مدينة مزدهرة وصل عدد سكانها نحو 36.000 نسمة العام 1852، حيث تم بناء الطرق والمدارس والكنائس والبلدات في جميع أنحاء كاليفورنيا، وصيغ دستور كاليفورنيا وأصبحت ولاية في العام 1850 [المحررة].

عصره. وحصل ليبل على لقب فارس في العام 1848، ثم أصبح بارونا (أشبه بفارس بالوراثة) في العام 1864، وعلى الرغم من أنه لم يتوقف إطلاقا عن كونه نشـــطا ميدانيا كعالم جيولوجي بعد العام 1833، فقد كان في منتصف الثلاثينيات من عمره، وكان قد ترك بصمته على العلم بفضل كتابيه «المبادئ» و«العناصر»، ولسنا في حاجة إلى أن نسهب هنا في الحديث عن حياته بعد ذلك، إلا ما يخص (كما سوف نرى) علاقته مع تشـــارلز داروين. ولكن حري بنا أن نذكـــر إحدى رحلاته في مجال البحث الجيولوجي الميداني التي قام بها بعد ذلك، والتي توضح لنا كيف كان العالم يتغير في القرن التاســـع عشـــر. إذ في صيف العام 1841، قام بزيارة امتدت عاما إلى أمريكا الشـــمالية (على متن سفينة بخارية، بطبيعة الحال)، ولم يشاهد هناك فقط براهين جيولوجية جديدة تؤكد قدم الأرض، بل شـــاهد أيضا قـــوى الطبيعة فاعلة نشـــطة في أماكن من مثل شـــلالات نياغرا، ولكن الشـــيء الذي أدهشـــه وأدخل السرور إلى نفســـه هو إدراكه مدى الســـهولة التي تحققت بهـــا الرحلة بفضل الســـكك الحديد التي يسرت الســـفر عبر أراض كانت حتى عهد قريب مجاهـــل غير مأهولة ومعروفة. وألقى كما كبيرا من المحاضرات العامة الشـــعبية وحفز حركة مبيعات كتبه في العالم الجديد. واســـتمتع ليبل كثيرا بتجربته هـــذه، ما دعاه إلى معاودة الزيارة ثلاث مرات بعد ذلك. ونتيجة لذلك توافرت لديه معارف مباشـــرة وجديدة تماما عن الولايات المتحدة، ما جعله مؤيدا صريحا لمطلب الاتحاد في أثناء الحرب الأهلية الأمريكية (وقتما كانت الأغلبية من أبناء وضعه الاجتماعي في بريطانيا يدعمـــون إقامة اتحاد كونفدرالي)، والملاحـــظ أن كتاب «مبادئ» كانت لـــه الهيمنة بحيث توارى في ظلـــه كل ما فعله ليبل في حياته بعد ذلك، لكن حتى كتابـــه «مبادئ» كاد يحجبه عن أعين الكثير كتاب آخر مدين، باعتـــراف مؤلفه، لكتاب ليبل - وأعني به كتاب تشـــارلز داروين «أصل الأنواع». كان داروين الرجل المناســـب في المكان المناســـب، وفي الزمن المناســـب، الذي حصل على أعلى فائدة ممكنة من كتاب «مبادئ»، لكن هذا كما سوف نرى لم يكن مجرد ضربة حظ كما قد يحدث أحيانا.

لم يكن ثمة جديد فيما يتعلق بفكرة التطور وقتما ظهر تشارلز داروين على الساحة. وذلك أن في الإمكان تتبع أفكار متنوعة عن التطور حتى أيام الإغريق القدماء، بل وفي الإطار الزمني الذي يشمله هذا الكتاب، إذ نجد مناقشات مهمة عن طريق تغير الأنواع على لسان فرنسيس بيكون في العام 1620، ونقرأ عن مناقشات أخرى بعد هذه الفترة بقليل على لسان عالم الرياضيات غوتفريد ويلهلم ليبنتس، وأبدى بوفون في القرن الثامن عشر حيرته إزاء كيفية ظهور أنواع متماثلة فيما عدا اختلافات طفيفة في مناطق مختلفة من الكرة الأرضية. وذهب في تخمينه إلى أن البيسون الأمريكي ربما هو من سلالة سلف للثور الأوروبي هاجر إلى هناك، حيث «تأثر بالمناخ والزمن، وتحول بعد ذلك إلى بيسون» (الثور الأمريكي). ولكن الشيء المختلف فيما يتعلق بتشارلز داروين (والفريد رسل والاس) أنه توصل إلى ما يشبه نظرية علمية تفسر سبب حدوث التطور، بدلا من اللجوء إلى اقتراحات مبهمة من مثل القول إن التطور «نتاج تغير المناخ». وجدير بالذكر أن أفضل فكرة عن كيفية حدوث التطور (وكانت بالفعل فكرة جيدة في حدود معارف العصر، على الرغم من أن البعض ممن استفاد من تجارب سابقة سخر منها) قبل داروين وألفريد والاس هي فكرة جد تشارلز داروين، إرازموس. وطرح إرازموس فكرته مع نهاية القرن الثامن عشر، وهناك أيضا (وبشكل مستقل) فكرة العالم الفرنسي جان - بابتيست لامارك مع بداية القرن التاسع عشر.

نظريات التطور: إرازموس داروين وكتاب زونوميا أو «قوانين الحياة العضوية»

الرابطة بين عائلة داروين ولغز الحياة على الأرض تعود إلى جيل سابق، إلى زمن إسحق نيوتن. عاش روبرت داروين، أب إرازموس، من العام 1682 إلى العام 1754 وكان يعمل محاميا لدى المحاكم العليا ثم تقاعد عن مهنته وهو في الثانية والأربعين من العمر واستقر في بيت العائلة في قرية إلستون في وسط إنجلترا. تزوج في العام نفسه وأنجب إرازموس، الطفل السابع الأصغر بين أبنائه، المولود في 12 ديسمبر 1731، ولكن قبل عدة سنوات من استقراره في النعيم الأسري لحظ في العام 1718

أحفورة غير عادية مطمورة داخل لوح صخري في قرية إلستون. وهذه هي اللقيـــة المعروفة الآن بأنها جزء من حيــوان البلصور(*)، ويعود إلى العصر الجوراســـي، ويعود الفضل إلى روبـــرت داروين أنه قدم الأحفورة للجمعية الملكيـــة، ودعـــت الجمعية روبرت، تعبيرا عن شــكرها، لحضـــور اجتماع الجمعية الملكية في 18 ديسمبر في العام نفسه، والتقى هناك نيوتن الذي كان وقتذاك رئيســـا للجمعية الملكية. ونحن لا نعرف غير النزر اليسير عن حياة روبرت داروين، لكن أبناءه (ثلاث بنات وأربعة أولاد) شبوا وترعرعوا في بيت ساده فضول يزيد على المعدل العام تجاه العلم وعالم الطبيعة.

تلقى إرازموس تعليمه في مدرسة تشسترفيلد (حيث كان أحد أصدقائه لورد جورج كافنديش، الابن الثاني لدوق ديفنشـــاير وقتذاك) قبل أن ينتقل إلى كلية ســـان جـــون في كيمبريدج في العـــام 1750، وحصل على تمويل جزئي من منحة دراسية تعادل 16 جنيها إسترلينيا في السنة. وعلى الرغم من الوضع القاســـي للجامعة وقتذاك، فإن إرازموس أبلى بلاء حســـنا في الكلاســـيكيات أولا، ثم اشتهر كشـــاعر بعد ذلك. بيد أن أباه لم يكن ثريا، ومن ثم كان على إرازموس أن يختار لنفســـه مهنة توفر له أسباب الحياة. وبعد عامه الأول في كيمبريدج شـــرع في دراســـة الطـــب، وارتبط أيضا بصداقة مع جون ميشـــيل الذي كان يعمل معلما في كوينز كوليج. وواصل دراســـته الطبية في إدنبره خلال عامي 1753 و1754 (العام الذي توفي فيـــه أبوه)، وعاد بعد ذلك إلى كيمبريدج للحصول على درجة البكالوريوس فـــي الطب في العام 1755، وربمـــا قضى وقتا أطول بعد ذلك في إدنبره، لكن لا نجد في الســـجلات ما يفيد بأنه حصل علـــى درجة الدكتوراه في الطـــب، هذا على الرغم من ذلـــك لم يمنعه من إضافة حرفي MD، والتي تعني دكتوراه في الطب، إلى قائمة مؤهلاته.

وأيا كانت مؤهلات إرازموس داروين على الورق، فإنه كان طبيبا ناجحا سرعان ما أسس لنفسه مكانة مزدهرة في الممارسة الطبية في ليتشفيلد، على بعد 24 كيلومترا شـــمال برمنغهام. وبدأ أيضا في نشـــر أوراق بحث علمية (إذ كان معنيا بخاصة وقتذاك بالبخار وبإمكانات المحركات البخارية

(*) إحدى الزواحف الضخمة البحرية المنقرضة [المترجم].

وطرق تشكل السحب). وفي 30 ديسمبر 1757، وبعد أسابيع من عيد ميلاده السابع والعشرين، تزوج بماري هووارد (وتعرف باسم بولي)، والتي كانت هي ستحتفل بعد بضعة أسابيع بعيد ميلادها الثامن عشر. ويمثل كل هذا النشاط الذي يجري في آن واحد على عدة جبهات النموذج الطبيعي لشخصية إرازموس داروين، الذي عاش يقينا حياة مترعة. وأنجب الزوجان ثلاثة أطفال عاشوا حتى كبروا (تشارلز وإرازموس وروبرت) ومات اثنان في سن الطفولة (إليزابيث ووليام). والوحيد منهم الذي تزوج هو روبرت (1766 - 1848)، أب تشارلز روبرت داروين، الذي اشتهر اسمه مقترنا بالتطور. وتميز تشارلز داروين الابن الأكبر لإرازموس بأنه كان طالبا نابغا، وحبة عين أبيه، وواعدا بمستقبل باهر في مقبل حياته في مجال الطب. وإذ لايزال طالبا في كلية الطب في العشرين من العمر، في جامعة إدنبره، قطع إصبعه أثناء عملية تشريح وأصيب بعدوى إنتان الدم (Septicaemia) مما أفضى إلى وفاته. وبحلول العام 1778، وضع إرازموس الأصغر قدميه على أول الطريق ليعمل محاميا، بينما كان روبرت لايزال طالبا في المدرسة ومتأثرا أشد التأثر بأبيه ويريد أن يقتفي أثره ليعمل طبيبا، وحقق هدفه هذا بنجاح وإن أعوزه نبوغ أبيه فضلا عن كراهيته لمنظر الدم. وتوفي إرازموس الصغير أيضا وهو لايزال صغيرا نسبيا، إذ إنه غرق وهو في الأربعين من العمر فيما يمكن أن يكون حادثا أو انتحارا.

وتوفيت بولي أيضا بعد معاناة طويلة مع المرض في العام 1770، وليس ثمة أدنى شك في أن إرازموس أحب زوجته الأولى وحزن حزنا شديدا على وفاتها، لكن عندما دخلت ماري باركر، التي تبلغ السابعة عشرة ربيعا، البيت لتساعد في رعاية روبرت الصغير، وقع المحظور الذي لا مناص منه، وأنجبت بنتين تبناهما إرازموس. وأصبح معروفا على الملأ أن البنتين تنتسبان إليه، واهتم هو برعايتهما في بيت داروين حتى بعد أن تركت أمهما البيت وتزوجت، وظل الجميع على علاقة الود المتبادل فيما بينهم. وقع إرازموس بعد ذلك في هوى سيدة متزوجة اسمها إليزابيث بول، ونجح في طلب يدها بعد وفاة زوجها، وتزوجا في العام 1781 وأنجبا سبعة أطفال آخرين، مات واحد منهم فقط وهو طفل.

قــد يذهب بنا الظن، إزاء كل هذه الوقائع علاوة على ممارســة إرازموس داروين للطــب، إلى أنه لا وقت لديه للنشــاط العلمي. ولكنــه أصبح زميلا للجمعيــة الملكية في العــام 1761، وكان القوة الدافعة وراء تأســيس «لونار سوســايتي» أو جماعة القمر، واختلــط بالعديد من العلماء من أمثال جيمس واط وبنجامــين فرانكلــين (الذي التقــاه عن طريق جون ميشــيل) وجوزيف بريســتلي. ونشــر أبحاثا علمية وحــرص على متابعة أحــدث التطورات في العديد من مجالات النشاط العلمي، وكان من أوائل المؤمنين بأفكار لافوازييه عن الأكســجين. وترجم أيضــا أعمال لينايوس إلــى الإنجليزية (الذي أدخل فــي لغة علم النبات مصطلحي الســداة Stamen والمدقة Pistil(*). وعلاوة على هذا شــارك على ســبيل الهواية واللهو في استثمارات القنال، ودعم مع آخرين مصنعا للصناعات المعدنية وارتبط بصداقة قوية مع جوزيا ويدجوود، الــذي حقق ثروة طائلة من صناعة الأوانــي الفخارية، وتحالف مع إرازموس في المعركــة ضد العبودية. وابتهج الرجلان حين ارتبــط روبرت داروين، ابن إرازموس، بسوزانا ويدجوود، ابنة جوزيا، بعلاقة رومانسية، لكن جوزيا توفي في العام 1795 قبل زواج الاثنين بعام. وورثت سوزانا عن أبيها 25 ألف جنيه إســترليني، وهو ما يعادل اليوم مليوني جنيه إســترليني، وعلاوة على أشياء أخرى ســوف يعني هذا أن ابنها تشــارلز روبرت داروين لن يحمل هم توفير أسباب العيش عن طريق مهنة ما.

مع زواج روبرت بســوزانا، حقق إرازموس داروين لنفســه شــهرة واسعة بفضل أعماله التي تبرر مكانته في تاريخ العلم، بيد أنه اســتهل شهرته بعمل شعري مؤسس على أفكار لينايوس، والذي استهدف تقديم مباهج علم النبات لقراء جدد. حمل ديوانه عنوان «عشــق النبات»، وصدر من دون اســم المؤلف في العام 1789 (بينما كان إرازموس في السابعة والخمسين) على الرغم من أنه غني بأفكار عاشــت معه وتطورت على مدى زمن طويل. وعمد إرازموس حرفيا إلى تصوير النبات وكأن له نزوع جنســي، الأمر الذي كان له ســحره على نطاق واسع من القراء، ويبدو أن كان لهذا تأثيره الواضح في شعراء من أمثال شــيلي، وكولريدج، وكيتس، ووردزوورث(**). وصدر عقب هذا النجاح

(*) وهما على الترتيب العضو الذكري في الزهرة وعضو التأنيث الحامل للبيضة [المترجم].

(**) للبرهنة على صدق هذه المزاعم المذهلة انظر مسيرة حياة إرازموس داروين بقلم ديزموند كنغ - هيلي. ويحكي أن كولريدج زار إرازموس العام 1796م.

فـــي العام 1792 «اقتصاد الحياة النباتيـــة» The Economy of Vegetation (ويشــــار إليه عادة بعنوان «الحديقة النباتية» The Botanic garden) والذي هو تحديدا عنوان طبعة كاملة تضم كلا من «اقتصاد الحياة النباتية» و«عشق النبات». ويتألف من 2440 بيتا من الشـــعر تضم 80 ألف كلمة (إذا جاز لنا أن نقول ذلك) وتمثل في مجموعها كتابا عن عالم الطبيعة. وأصدر إرازموس بعد ذلك فـــي العام 1794 أول مجلد له نثرا بعنوان «زونوميا» (Zoonomia) والذي يكاد يصل إلى نحو 200 ألف كلمة، وأعقبه في العام 1796 مجلد ثان أطـــول من الأول بنحو 50 في المائة ويقدم في المجلد الأول من كتاب زونوميا عرضـــا كاملا وافيا لأفكاره عن التطور، ملمحا إلى كتاباته الشـــعرية الأولى، على الرغم من أن هذه الكتابات تمثل فقط فصلا، واحدا من الأربعين فصلا، هي مجموع فصول المجلد التي خصص أكثرها للطب والبيولوجيا.

وتتجـــاوز أفكار إرازمـــوس داروين عن التطور حـــدود التأمل المحض والتعميمات الخالصة، على الرغم من أن الحالة العقلية المحدودة والضيقة فـــي عصره كانت بطبيعة الحال معوقا له. ويعرض تفصيلا الدليل على أن الأنواع تغيرت في الماضي، ويلفت الأنظار إلى أســـلوب التغير الذي يحدث عمدا في النباتات والحيوانات عن طريق التدخل الواعي من جانب البشر، ويذكر كمثال على ذلك تربية خيل السباق الأسرع عدوا أو تطوير محاصيل زراعية أكثر إنتاجية عن طريق عملية الانتخاب الاصطناعي - الأمر الذي يبدو الخاصية الرئيســـية التي تمثل إرهاصا للنظرية التي طورها حفيده. ويوضح أيضا كيفية توارث السمات بحيث ترثها الذرية عن الأبوين. ولفت الانتباه إلى أمور كثيرة من مثل «سلالة قطط لها مخلب زائد على الطبيعة فـــي كل قدم» تصادف أن رآها. وأبدى اهتماما واضحا بأســـاليب التكيف المختلفة التي تتمكن بفضلها مختلف الأنواع من الحصول على حاجتها من الطعام، وذكر من بين ما ذكر (مما نرى فيه إرهاصا آخر بما جاء به تشارلز داروين) أن «بعض الطيور اكتسبت مناقير شديدة الصلابة تمكنها من كسر حبات الجوز، مثل الببغاء. واكتســـبت طيور أخرى مناقير ملائمة لكســـر بذور صلبة، مثـــل العصافير. وتكيفت طيور أخرى مـــع البذور اللينة...». لكن الشيء المثير تماما في كل هذا أن إرازموس (ويبدو واضحا من أنه من

أنصـــار فكر هاتون) توصل إلى عقيدة مؤداها أن الحياة بكل صورها على ظهر الأرض (بما في ذلك ضمنا الإنسان) سليلة مصدر مشترك:

> ترى هل من الجسارة في شيء أن نتصور على مدى الزمان منذ نشـــأة الأرض، وربمـــا منذ ملايين العصـــور(*) قبل بداية التاريخ البشري، أقول هل من الجسارة إلى حد النزق أن نتصور أن جميـــع الحيوانات ذات الدم الحار نشـــأت عن نســـيلة حية واحدة، والتي منحها الســـبب الأول الأعظم الطبيعة الحيوانية، والقدرة على اكتساب أطراف جديدة باستعدادات جديدة.

لايـــزال إرازمـــوس يؤمن بالله، لكـــن فقط باعتباره العلـــة الأولى التي أطلقـــت عمليـــات الحياة علـــى الأرض بادئ ذي بدء، لا نجـــد هنا تدخلا لخلـــق أنواع جديدة بين الحـــين والآخر وإنما فهم واضح بـــأن الحياة أيا كان منشـــؤها ذاتها، ما إن وجدت حتى أخذت فـــي التطور والتكيف وفقا للقوانـــين الطبيعية من دون تدخل من خارج(**). بيد أن إرازموس لم يكن يعرف ماهية تلك القوانين الطبيعية التي تحكم التطور. وذهب في تأملاته إلى أن التغيرات التي حدثت في أجسام الكائنات الحية وفي النباتات إنما حدثت بفعل ســـعيها جاهدة إلى الحصول على شـــيء هي في حاجة إليه (لنقل الطعام) أو للإفلات من خطر الحيوانات المفترســـة. وقد يكون هذا أشـــبه بما يحدث في العضلة بفعل رافعة أثقـــال. ولكن إرازموس رأى أن هذه السمات المكتسبة سوف تنتقل بالوراثة إلى ذرية الفرد الذي اكتسبها، ما يؤدي إلى تغير تطوري. مثال ذلك طائر يخوض في الماء خشية أن يبتل ريشـــه سيظل يبســـط جناحيه إلى أعلى قدر الإمكان حتى لا يمس ريشه الماء، ويمد ســـاقيه قليلا إلى أعلى. وهنا فإن هـــذا الطول الطفيف الذي تكتســـبه الســـاقان ســـوف ترثه الذرية، وبعد أجيال طويلة يمكن أن تؤدي هـــذه العملية المتكررة إلى تحول ســـاقين لطائر مثل البجعة إلى طائر مثل البستروس (الفلامينغو) له ساقان طويلان.

(*) كلمـــة «عصر» ربما تعني عند إرازموس داروين نحو مائـــة عام، لذلك فإن أفكاره عن المدى الزمني والمراحل الزمنية للتطور كانت سابقة على زمانه.

(**) لنتذكر أن الكنيسة في تلك الفترة كانت لاتزال تلقن أتباعها أن الكائنات ظهرت إلى الوجود فرادى وظلت منذ الأبد من دون تغيير.

ولكن على الرغم من خطأ هذه الفكرة، فإنها ليست ضربا من الجنون، خصوصا إذا عرفنا حالة المعرفة في نهاية القرن الثامن عشر، ويعود الفضل على الأقل إلى إرازموس داروين لأنه حاول التوصل إلى تفسير علمي لحقيقة التطور. وواصل (مع أنشطته الأخرى الكثيرة) تطوير أفكاره طوال بقية حياته، وشهد في العام 1803 صدور كتاب «معبد الطبيعة» الذي يحكي نظما قصة تطور الحياة من هبأة مجهرية إلى التنوع المشاهد اليوم. ونعود لنقول إن النظم اقترن بكم كبير من الملاحظات والهوامش التي تعادل كتابا كاملا في ذاتها. بيد أن إرازموس لم يحالفه النجاح مع نشره لهذا الكتاب، ذلك أن توجهه الذي يقارب التجديف، وكذا أفكاره التطورية، واجهت إدانة واضحة وبدت مخالفة لما هو سائد في مجتمع مشتبك في حرب مع فرنسا النابليونية ويتوق إلى الاستقرار والأمن، وليس إلى ثورة أو تطور. زد على هذا أن إرازموس نفسه لم يعد موجودا ليدافع عن قضيته، إذ وافته المنية في بيته يوم 18 أبريل 1802 وعمره 70 عاما. ولعل من الملائم تماما أن نقر بأنه ظهرت في فرنسا النابليونية، على الرغم من الوضع السياسي، أفكار تطورية مماثلة لأفكار إرازموس، ونمت وتطورت على نحو أكثر اكتمالا.

جين بابتيست لامارك: نظرية لامارك عن التطور

جين - بابتيست بيير أنطوان دو مونيه دو لامارك، وهذا لقبه بالكامل، وهو من أبناء طبقة النبلاء الأدنى مستوى (من المبادئ العامة التي تؤكدها الخبرة أنه كلما طالت قائمة الأسماء كلما كان فرع النبالة أدنى مستوى)، مولود في بازنتين، في بيكاردي، يوم الأول من أغسطس في العام 1744، تلقى تعليمه في الكلية اليسوعية في أميان من الحادية عشرة من العمر وحتى الخامسة عشرة (تفاصيل حياته الباكرة شديدة الغموض)، وكان يتهيأ على الأرجح ليكون قسيسا. لكن بعد وفاة والده في العام 1760، أراد لنفسه أن يكون جنديا، وانضم إلى جيش يخوض حربا في الأراضي الواطئة (هولندا) في أثناء حرب السنوات السبع. وانتهت الحرب في العام 1763، وكشف لامارك عن اهتمام بعلم النبات نتيجة للحياة البرية

التي شاهدها خلال أسفاره المتعاقبة إلى البحر المتوسط وشرق فرنسا. وأصيب في العام 1768 إصابة أرغمته على التخلي عن مستقبل العمل العسكري ومن ثم استقر في باريس حيث عمل في أحد المصارف، وواظب على حضور محاضرات في الطب وعلم النبات. وبعد عشر سنوات بدأت شهرته كعالم نبات مع صدور كتابه «الحياة النباتية في فرنسا» Flore Francaise والذي أصبح النص المعياري المعتمد في تصنيف النباتات في فرنسا. وتأسيسا على ما يتمتع به الكتاب من قوة (وبرعاية بوفون الذي ساعد في نشر الكتاب)، انتخب لامارك للأكاديمية، وسرعان ما أعطى ظهره للمصرف.

وحققت رعاية بوفون ثمنها. إذ في العام 1781 تولى لامارك مهمة لا يحسد عليها، وهي القيام بدور المعلم الخاص والرفيق لابن بوفون جورج، الذي لا نفع من ورائه، في أثناء رحلة سياحية في أوروبا. لكن يمكن القول على الأقل إن هذه المهمة هيأت للامارك فرصة لمشاهدة المزيد من مشاهد العالم الطبيعي. وتولى لامارك بعد عودته من أسفاره سلسلة من المناصب المتخصصة في النبات والمرتبطة بحديقة الملك جاردان دو روا (Jardin de Roi)، واتسع أفق اهتماماته إلى أبعد من النباتات (بل ونقول البيولوجية) واشتملت أيضا على الأرصاد الجوية والفيزياء والكيمياء. وتولى مهمة إعادة تنظيم حديقة الملك بعد الثورة الفرنسية، وأنيطت إليه مسؤولية العمل، كأستاذ جامعي، على دراسة ما كان يسمى آنذاك «الحشرات والديدان» في متحف التاريخ الطبيعي الفرنسي في العام 1793، ويعود الفضل إلى لامارك إذ أطلق على هذه المجموعة المختلطة من الأنواع اسما عاما جامعا هو «اللافقريات». ونظرا إلى أنه كان داعية إلى الإصلاح، ولم تلوثه أي روابط بغيضة بالتزام جباية الضرائب فقد استطاع لامارك أن يبقى على قيد الحياة في أثناء وبعد الثورة، من دون أن يتهدده شخصيا خطر ما. واستلزم الوضع من لامارك، باعتباره أستاذا جامعيا، أن يقدم سلسلة من المحاضرات سنويا في المتحف، وتوضح لنا هذه المحاضرات كيف أن أفكاره عن التطور نشأت معه وتطورت تدريجيا مع أول ذكر، في العام 1800، لفكرة تقول إن الأنواع ليست أبدية ولا يطرأ عليها تغيير.

وعمد إلى وصف الكائنات الحية من أشدها تعقدا في الشكل نزولا إلى أبسطها شكلا، وصنفها (وإن بدا التصنيفُ مشوشا) وفقا لما سماه انحطاطها أو تدني رتبتها degradation، ويقول إن اللافقاريات:

> توضح لنا أكثر من غيرها هذا الانحطاط في التنظيم، وذلك التدني المرحلي في الملكات الحيوانية وهو ما يهم كثيرا، من دون ريب، عالم الطبيعيات المعني بالفكر الفلسفي. وأخيرا، فإنها تصحبنا تدريجيا إلى المرحلة الأولى للتكوين الحيواني Animalization، أي إلى الكائنات الحيوانية في أقصى أشكالها نقصا وقصورا، والأبسط تنظيما، والتي نكاد في الحقيقة نشك في نسبتها إلى الكينونة الحيوانية animality، ومن يدري، ربما هذه هي الكائنات التي بدأت بها الطبيعة، بينما صاغت وشكلت كل ما سواها مستعينة في ذلك بالمدى الزمني الأكبر وبالظروف المواتية (*).

أو لنقل بعبارة أخرى إن لامارك على الرغم من أنه عرض حجته مقلوبة رأسا على عقب، فإنه يقول إن أبسط الكائنات الحية تطورت إلى ما هي أكثر تعقدا، ولنلحظ أن الإشارة إلى المدى الزمني الأكبر إنما هي إشارة اقتضتها عملية التطور في امتدادها.

ويقول إل. جي. جوردانوفا، كاتب سيرة حياة لامارك، «لا يوجد دليل» على أنه على دراية بأفكار إرازموس. ويقول ديزموند كنغ - هيلي كاتب سيرة حياة داروين، إن أفكار لامارك تأثرت على نحو شبه يقيني بكتاب زونوميا. ونحن لن نعرف الحقيقة، ولكن سلوك لامارك يبين في أحد جوانبه مماثلا تماما لسلوك داروين. وعلى الرغم من أننا لا نعرف سوى النزر اليسير عن حياته الخاصة، فإننا نعرف عن يقين أن له ستة أطفال من امرأة عاش معها وتزوج بها فقط وهي على فراش الموت. ثم تزوج بعد ذلك باثنتين أخريين على الأقل (وهناك من يقول أربع زيجات)، وأنجب ما لا يقل عن طفلين آخرين. بيد أنه على عكس إرازموس داروين (أو تشارلز داروين في الحقيقة)، تمتع بأسلوب أدبي لا ينضب معينه ويبدو (كما

(*) الاقتباس من ترجمة جوردانوفا.

يوضح المثال السابق، وهو ليس أسوأ ما كتب) أنه كان عاجزا عن أن يقدم أفكاره بوضوح وهي مطبوعة.

ولخص أفكاره عن التطور في ملحمته المعنونة «التاريخ الطبيعي للحيوانات اللافقرية» (Histoire naturelle des animaux sans vertebras)، الذي صدر في سبعة مجلدات في الفترة من 1815 و1822، وقتما بلغ لامارك الثامنة والسبعين من العمر وقد كف بصره (وتوفي في باريس في 18 ديسمبر 1829، ويمكن تحقيقا لهدفنا الذي ننشده، أن نوجز أفكار لامارك عن التطور في صورة أربعة «قوانين» عرضها في المجلد الأول لهذا الكتاب، والمنشور في العام 1815:

> القانون الأول: يوجد بفضل قوى الحياة الذاتية ميل دائم إلى أن يزداد حجم الأجسام العضوية وإلى أن تتمدد أبعاد أطرافها إلى مدى تحدده الحياة ذاتها.

(وهذا صحيح إلى حد ما، إذ يبدو أنه ثمة فائدة تطورية في توافر جسم أكبر حجما، وأن أغلبية أنواع الكائنات الحية متعددة الخلايا كبر حجمها مع مسيرة التطور).

> القانون الثاني: ظهرت الأعضاء الجديدة في الحيوانات نتيجة لحاجات جديدة تولدت لديها واستمرت معها، ونتيجة لحركات جديدة ظهرت استجابة لهذه الحاجات ومع الحاجة إلى بقائها.

(يمكن القول على أقل تقدير إن هذا ليس خطأ كله، إذا ما تغيرت ظروف البيئة تظهر ضغوط تستدعي إحداث تغيرات تطورية بعينها. لكن لامارك يعني، وهو مخطئ في هذا، أن «الأعضاء الجديدة» تنمو داخل الأفراد، وليس نتيجة تغيرات طفيفة من جيل إلى الجيل الذي يليه).

> القانون الثالث: ثمة علاقة ثابتة ومطردة بين نمو الأعضاء وقدراتها وبين استخدام الأعضاء المعنية هنا.

(وهذه هي الفكرة التي تقول إن ساقي طائر البشروس أطول لأن البشروس يمد جسمه دائما إلى أعلى ليتجنب ملامسة الماء. وهذا خطأ تماما).

> القانون الرابع: كل ما هو مكتسب... أو كل شيء تغير في التكوين العضوي للكائن الفرد على مدى حياته، يحتفظ به الكائن الحي ويتواصل خلال عملية التكاثر وينتقل إلى الجيل التالي عن طريق الجيل الذي عايش التغيير.

(هذا هو لب اللاماركية - وراثة السمات المكتسبة. وهو خطأ تماما).

ومع هذا لعل الفكرة الأقوى تأثيرا عند لامارك هي تلك التي وقفت في حلق تشارلز ليل ودفعته إلى رفض فكرة التطور عندما ألف كتابه «المبادئ»، إذ إنه أدرج البشر ضمن العملية.

واجهت أفكار لامارك معارضة قوية من جانب العالم المفكر صاحب النفوذ القوي جورج كوفيير الذي كان يؤمن إيمانا راسخا بثبات الأنواع، وعزز موقف لامارك إيزيدور جيوفردي سانت - هيلير (1772-1844)، الذي عمل مع لامارك في باريس. ولكن للأسف أضر دعم سانت - هيلير بقضية لامارك بقدر ما أفادها. عزز وطور أفكار لامارك واقترب كثيرا جدا من فكرة الانتخاب الطبيعي، وأشار إلى أن ما يسميه لامارك «الأعضاء الجدد» ليست بالضرورة مفيدة دائما، وقال في عشرينيات القرن التاسع عشر إنه:

> إذا أدت هذه التعديلات إلى آثار ضارة، فإن الحيوانات التي حدثت لها هذه التعديلات سوف تهلك وتحل محلها أخرى مختلفة الشكل إلى حد ما، إذ يتغير الشكل بحيث يكون متكيفا مع البيئة الجديدة (*).

يتضمن هذا عناصر من اللاماركية، ولكنه يتضمن أيضا بذرة فكرة البقاء للأصلح. ولكن سانت - هيلير دعم أيضا أفكارا جامحة عن العلاقة بين الأنواع، وعلى الرغم من أنه اعتمد كثيرا على التشريح المقارن على نحو صحيح، فإنه تجاوز الحد وتمادى حين زعم أنه طابق ووجد أن تصميم بنية الجسد واحد في الفقريات والرخويات، وهكذا فاقم من نيران النقد الذي وجهه كوفيير، وأفقده الثقة في كل أعماله، بما في ذلك أفكاره عن التطور. وبحلول عشرينيات القرن التاسع عشر كان لامارك قد رحل عن

(*) الاقتباس من كتاب هنري أوزبورن «من الإغريق إلى داروين».

الدنيا وفقد نصيره الأساسي كل أسباب الثقة فيه إلى حد كبير، وأصبح الطريق بذلك ممهدا أمام تشارلز داروين ليلتقط أطراف الخيوط. لكن استلزم الأمر وقتا طويلا منه لكي ينسج كل تلك الخيوط في صورة نظرية متسقة عن التطور، وربما كان في حاجة إلى وقت أطول لكي يستجمع شجاعته وينشر أفكاره.

تشارلز داروين: حياته

أسطورتان رائجتان عن تشارلز داروين ليس لأي منهما نصيب من الحقيقة. الأولي، وسبق أن ألمحنا إليها، تقول إنه كان فتى هاويا من وجهاء القوم، أسعده الحظ بالسفر في رحلة حول العالم، حيث شهد الدليل الواضح على التطور في الواقع العملي، وتوصل إلى تفسير يمكن لأي من أبناء عصره ممن أوتوا حظا من العقل والذكاء أن يفكر فيه إذا ما توافرت له الظروف نفسها. والأسطورة الثانية أنه عبقري نادرا ما يجود الزمان بمثله واستطاع ببصيرة نافذة متوهجة تفرد بها أن يسبق القضية العلمية بجيل أو أكثر. وحقيقة الأمر أن كلا من تشارلز داروين وفكرة الانتخاب الطبيعي هما إلى حد كبير جدا نتاج عصرهما. ولكن داروين تميز بالدأب والجد والمثابرة على نحو غير عادي في بحثه عن الحقيقة العلمية داخل نطاق واسع من المباحث العلمية.

ونعرف أنه مع وفاة إرازموس داروين، كان ابنه روبرت قد ترسخت قدماه في مجال الممارسة الطبية الناجحة قرب شروزبيري، وانتقل قبيل ذلك إلى بيت جميل بناه لنفسه وسماه «ذي ماونت» وأتم بناءه في العام 1800. ويشبه روبرت أباه من حيث البنية الجسدية، إذ يبلغ طول قامته أكثر من ستة أقدام، ويزداد جسمه سمنة كلما كبر في السن، واتساقا مع تقليد عائلة داروين كان أبا لكوكبة من الأطفال الأصحاء (وإن لم يناظر أباه في ذلك)، بيد أن إرازموس لم يمتد به العمر ليرى ميلاد حفيده تشارلز الثاني، أصغر أطفال هذه الكوكبة. وجاء ميلاد أخواته ماريان وكارولين وسوزان في الأعوام 1798، 1800، 1803، والأخ الأكبر إرازموس في 1804، أما تشارلز روبرت داروين فقد ولد في 12 فبراير 1809 ثم أخيرا

إميلي كاترين (واشـــتهرت داخل الأسرة باسم كاتي) وقد وصلت إلى الدنيا العام 1810 بينما كانت الأم سوزانا في الرابعة والأربعين من العمر. ويبدو أن تشـــارلز عاش في طفولته حياة تعطل وكســـل، وأفسدته أخواته الثلاثة الأكبر منه سنا، إذ ســـمحت له الأسرة بالطواف والتسكع في أفنية البيت وفي الضاحيـــة القريبة، وتعلم على يدي كارولين مبـــادئ القراءة والكتابة إلـــى أن بلغ الثامنة من العمر، ناظرا بعين الإعجاب لأخيه الأكبر. وتغيرت الأمور جذريا العام 1817، ففي ربيع تلك الســـنة بدأ تشارلز يواظب على الحضور في مدرسة الحي النهارية قبل أن يصبح تلميذا داخليا في مدرسة شـــروزبيري (التي سبقه إليها أخوه إرازموس) في العام 1818، وفي يوليو 1817 توفيـــت أمه بعد حياة نغصتها الأمراض مـــن نوع إلى آخر. ورحلت على حين غرة حين فاجأتها آلام معدية حادة وهي في الثانية والخمســـين. لم يتجاوز روبرت داروين أبدا الخسارة التي ألمت به، ولم يشأ أن يقتفي أثر أبيه ويحتذي به بعقد زيجة ثانية سعيدة، وإنما حظر أي مناقشة معه بشأن الفقيدة واســـتغرق في نوبات متوالية من الاكتئـــاب بقية حياته. ويبدو أن قراره أحدث تأثيرا قويا، حتى أن تشـــارلز داروين كتب في مرحلة متأخرة من حياته أنه لا يكاد يتذكر سوى القليل جدا عن أمه.

أمـــا عن إدارة شـــؤون البيت، فقد كانت ماريـــان وكارولين كبيرتين بما يســـمح لهما بالقيام بالمهمـــة، ثم أدت البنات الأصغر بعـــد ذلك دورهما. ويذهب بعـــض المؤرخـــين (والإخصائيين النفســـيين) إلـــى أن موت أمه، وخصوصا اســـتجابة أبيه إلى الحـــدث، كان له - يقينا - أثره العميق على الفتى تشارلز بحيث صاغ مستقبل شخصيته، ويذهب آخرون إلى أن الأم، في بيت كبير به عدد من البنات والخادمات، كانت شخصية بعيدة بالنسبة إلـــى طفل في الثامنة مـــن العمر، بما يعني أن موتها ربمـــا لم يترك آثارا عميقة دائمة. ويشـــهد الواقع أن البيت أرســـل تشارلز إلى مدرسة داخلية بعـــد عام واحد من وفاة أمه ومن ثم حرمه هذا من بيئة الأســـرة الداعمة (رغـــم أنهـــا قريته إلى أخيه إرازموس)، مما يشـــير إلـــى أن تلك العوامل مجتمعـــة من 1817 و1818 أثرت فيه بعمق. كانت مدرســـة شـــروزبيري قريبـــة جدا من البيت (ذي ماونت - على بعد 15 دقيقة عبر الحقول، بما

يســـمح له بعمل زيارات متكررة- ولكن بالنسبة إلى صبي عمره 9 سنوات اقتضـــت ظروفـــه أن يعيش بعيدا عن البيت لأول مرة فإننا لا نجد ســـوى فارق طفيف سواء كانت المسافة إلى البيت 15 دقيقة أو 15 يوما.

نمـــا لدى داروين اهتمام قوي بالتاريخ الطبيعي أثناء وجوده بمدرســـة شروزبيري، واعتاد المشـــي طويلا لمراقبة الأجواء الطبيعية المحيطة به(*) ليجمع عينات منها ثم يعكف مستغرقا على الكتب في مكتبة أبيه. وفي العام 1822، وبينما إرازموس في الســـنة الدراســـية النهائية بالمدرسة، وتشارلز في الثالثة عشـــرة مـــن العمر، تولد لدى الأخ الأكبر اهتمام وشـــغف، وإن كان قصيـــر المدى بالكيمياء (وهو موضـــوع يمثل صيحة العصر وقتذاك)، واســـتطاع بسهولة إقناع تشارلز بالعمل مساعدا له لبناء معمل خاص بهما في البيت «ذي ماونت»، ويجري تمويله من الأب المتســـاهل في حدود مبلغ 50 جنيها إســـترلينيا. والتحق إرازموس في العام التالي بجامعة كيمبريدج وفقا للنظام المعمول به، ومن ثم تولى تشارلز إدارة المعمل لحسابه الخاص وقتما يكون في البيت.

والتزم إرازموس بتقليد الأسرة، وتدرب ليصبح طبيبا، ولكنه لم يجد في نفســـه ميلا إلى المهنة، ومن ثم شـــعر بالملـــل والضجر من الروتين الأكاديمـــي فـــي كيمبريدج، غير أن الأنشـــطة الإضافيـــة في المقررات الدراســـية كانت أقرب إلى هواه. وضاق تشـــارلز بالحياة في مدرســـة شـــروزبيري من دون أخيه إرازموس، ولكنه اعتـــاد على تحملها بعد أن تهيـــأت له فرصة زيارة إرازموس في صيـــف العام 1823، حيث قضى وقتا مشحونا متعة وإثارة، مما كان له تأثير سيئ على صبي في عمره، في الرابعة عشرة. ونشأ لديه بعد عودته إلى البيت اهتمام وشغف بلعبة صيد الطيور، وأصبح يفضل الرياضة على العمل الدراســـي بالمدرسة، وبدأ يكشـــف بوضوح عن بوادر تحول إلى حياة فتى مبذر متبطل، وأدى ذلـــك بـــأن أخرجه روبرت دارويـــن العام 1825 من المدرســـة، واتخذه مساعدا له لبضعة شهور، في محاولة منه ليغرس فيه شيئا من التقليد

(*) ربما كانت الجولات الطويلة ســـيرا على الأقدام هي سبب نشوء اهتمامه بالتاريخ الطبيعي، وليـــس العكس. ويتطابـــق هذا مع الفكرة القائلة إن داروين أثرت فيه بعمق الأحداث بين العامين 1817 و1818م.

الطبــي لعائلة دارويــن. توجه بعد ذلك إلى إدنبــره ليكون طالب طب. وعلى الرغم من أن تشــارلز لم يتجاوز بعد السادســة عشرة من العمر كان إرازموس قد أنهى ســنواته الثلاثة فــي كيمبريدج وقصد باختياره هو إدنبره ليقضي ســنة هناك ويكمل تدريبــه الطبي، كانت الفكرة هي أن يرعى إرازموس أخاه تشــارلز وأن يحضر مقررات دراسة الطب في تلك السنة، وانعقد الأمل على أنه بعد ذلك يكون قد استقر تماما وكبر سنا (ونضج عقلا) بحيث يكون مهيأ من حيث الشكل الرسمي لمؤهلاته الطبية. ولكن الأمور لم تجر على النحو المأمول.

ويمكن القول إن السنة التي قضاها في إدنبره كانت من نواح كثيرة إعادة عــرض لوقت الإثارة والمتعة في كيمبريدج، على الرغم من أن إرازموس حاول جاهــدا أن يتميز في دراســته، وعمد الفتيان إلى تجنب وصــول أي تقارير تفصيليــة إلى دكتور روبرت عن أنشــطتهما فيما يتعلق بالمقررات الدراســية الإضافيــة. وانتفت تمامــا أي إمكانية لأن يصبح تشــارلز طبيبا، ليس فقط بســبب إهماله لدراسته، بل وبسبب عزوفه وحساســيته أيضا. عافت نفسه تشــريح الجثــث، وإن التزم جادا بجوانــب معينة من دراســاته. ولكن حانت اللحظــة الفارقة ونقطة التحول في حياته عندما راقب إجراء عمليتين لطفل من دون تخدير إذ كانت هذه هي الوسيلة الوحيدة وقتذاك، وتأثر بشدة بسبب صورة الطفل وهو يصرخ بحدة متألما، وكتب بعد ذلك في سيرته الذاتية يقول:

> اندفعــت خارجا قبــل اكتمال العمليــة. ولم أحضر أي عملية بعد ذلك، ورفضت على الرغم من كل عوامل الإغراء والحــض مهما كانت قوتها، حــدث هذا قبل زمن طويل من الاهتداء إلى البنج «الكلوروفورم» وأيامه المباركة.
>
> ولازمني شــبح الحالتين بآثارهما المزعجة على مدى عام كامل(*).

ولما اســتعصى على داروين أن يطوع نفســه ويصرح لأبيه بهذا الفشــل، قرر العودة إلى إدنبره في أكتوبر 1826، عاقدا العزم على مواصلة دراســاته الطبية، بيد أنه قيد اسمه في صفوف دراسة التاريخ الطبيعي وتابع محاضرات

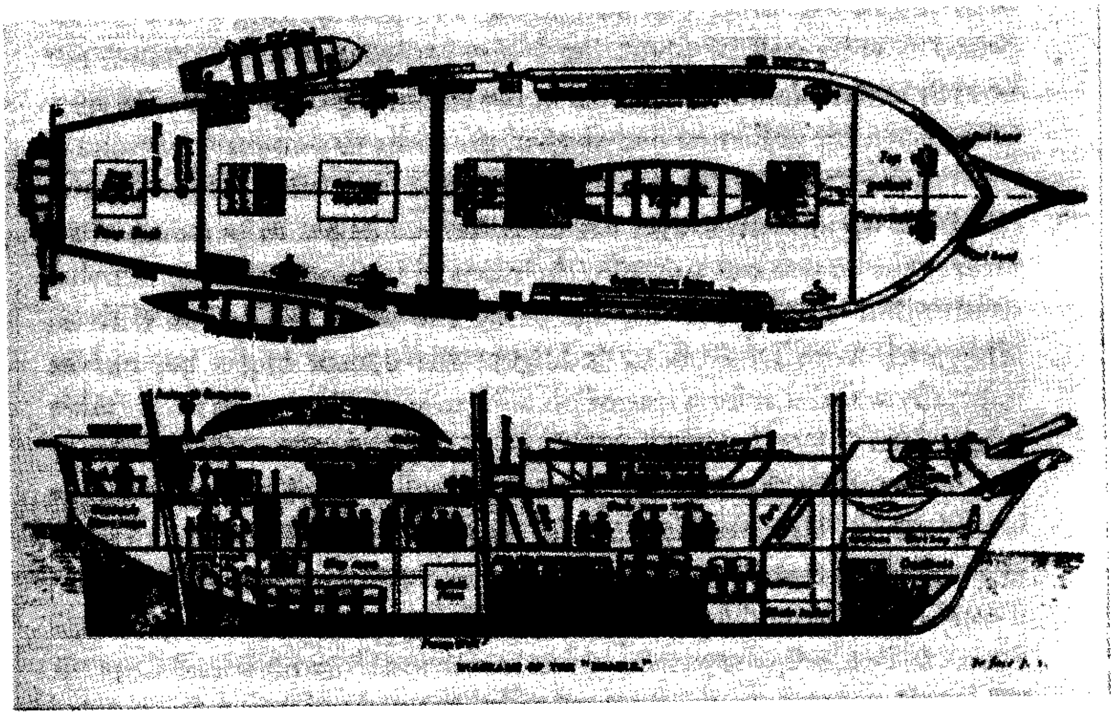
(*) الطبعة التي أشــرفت على تحريرها نورا بارلو هي أفضل مصدر لمعرفة هذه الآراء والنفاذ إلى حقيقة حياة داروين الباكرة.

الجيولوجيا، ووقع بوجه خاص تحت تأثير روبرت غرانت (1793-1874)، عالم التشريح المقارن الأسكوتلندي والخبير في الحياة البحرية والمهتم إلى درجة العشق بالرخويات البحرية. ويؤمن غرانت بالنظرية التطورية وإن كان يؤثر النظرة اللاماركية، فضلا عن أنه يشارك أيضا سانت - هيلير بعض آرائه عن التصميم الكوني للبدن، ونقل هذه الأفكار إلى الفتى داروين (الذي سبق له أن قرأ كتاب زونوميا أو قوانين الحياة العضوية وما تضمنه من آراء طبية تعبر عن بصيرة نافذة على الرغم من أنه، كما تفيد سيرته الذاتية، لم يتأثر وقتذاك بما فيه من أفكار تطورية)، وشجعه غرانت على القيام بدراساته الخاصة عن الكائنات التي عثروا عليها على شاطئ البحر. وعرف داروين من الجيولوجيا الكثير عن المحاجاة بين النبتونيين Neptunists الذين ذهبوا في تفكيرهم إلى أن القسمات المميزة لشكل الأرض حدثت بفعل المياه(*)، وبين البركانين Vulcanists الذين قالوا إن الحرارة هي القوة الدافعة (وكان يفضل التفسير الثاني). في أبريل 1827، وبينما كان داروين يناهز الثامنة عشرة من العمر، اكتشف شيئا كان معنيا به أشد العناية ومستعدا لبذل الجهد من أجله، إذ تبين له بوضوح زيف دراساته الطبية لأنها ليست الدراسة التي ينشد لها الدوام معه، ومن ثم ترك إدنبره بغير رجعة دون الحصول على أي مؤهلات رسمية. ويبدو أنه أراد أن يرجئ المواجهة الحتمية مع أبيه، فقد تأخر في العودة إلى ذي ماونت. وبعد جولة قصيرة في أسكوتلندا، قام بأول زيارة له للندن، حيث التقى أخته كارولين، واصطحبه ابن عمه هاري ويدجورد في جولة، وكان ابن عمه قد تأهل حديثا للعمل محاميا لدى المحاكم العليا. وانتقل بعد ذلك إلى باريس حيث التقى جوزيا ويدجوود الثاني (أب هاري، وابن صديق وثيق الصلة بإرازموس جد تشارلز) مثلما التقى ابنتيه فاني وإيما في طريق عودتهما من سويسرا إلى إنجلترا.

لكن في أغسطس، حان وقت المواجهة والنقد، وتمثلت النتيجة في أن روبرت داروين أصر على أن المستقبل الوحيد لتشارلز هو الالتحاق بكيمبريدج والحصول على درجة علمية حتى يتسنى لأبيه روبرت أن يلحقه بمنصب كاهن البلدة، فهذا هو السبيل الجدير بالاحترام لتقويم الفتية الأوغاد في زمانه.

(*) يقولون إن البحر ألقى رواسبه على اليابسة ثم انحسرت المياه، وإن الظواهر الجيولوجية منشؤها مياه البحر [المترجم].

وقسم تشارلز داروين موسم الصيف بين ممارسات أبناء الأثرياء (الصيد والحفلات) وبين التحضير على عجل في اندفاع يائس لتحصيل الحد الأدنى من معارفه الكلاسيكية. وفي خريف 1827 قبلته رسميا كرايست كوليج، وحصل على إقامة بها بعد أن انكب على الدراسة لفترة، في مطلع العام 1828، وعاد مرة أخرى ليكون برفقة إرازموس الذي يخطو خطواته الأخيرة للحصول على درجة بكالوريوس الطب، قبل الشروع في الجولة الكبرى في أوروبا كمكافأة له. ولا شك أنه كان من العسير على تشارلز تقبل الفارق الصارخ بعد أن قضى أربع سنوات في الدراسة وعاش حياة قسيس القرية.



29 - رسم يوضح سفينة جلالة الملكة «بيغل»
الرسم مأخوذ عن كتاب داروين «صحيفة البحوث العالمية»، 1845
(Journal of Researches 1845)

قضى داروين وقته كطالب جامعي في كيمبريدج على السنّة التي استنها لنفسه في أشهره الأخيرة في إدنبره، أهمل دراساته الرسمية ولكنه انكب على دراسة الشيء الذي استحوذ على اهتمامه - العالم الطبيعي. وجد نفسه هذه المرة تحت تأثير ورعاية جون هينسلو (1795-1861)، أستاذ علم النبات في كيمبريدج، الذي أصبح بالنسبة له معلما وصديقا. ودرس الجيولوجيا أيضا على يدي آدم سيدجويك (1785-1873)، وهو أستاذ

مــن أتباع نظرية وودورد في الجيولوجيا، وتميز كعالم في مجال بحثه على الرغــم من رفضه لأفكار هاتون وليبيــل التماثلية. ونظر الاثنان إلى داروين باعتباره تلميذا نابغة يتميز بســعة أفق فكري وقدرة على الدأب في العمل في ضوء ما بذله من جهد شاق ومتعجل لتحصيل كل ما فاته أو أهمله أثناء بحثــه النباتي والجيولوجي. وفوجئ داروين مثلما فوجئ الآخرون بحصوله على درجة علمية تحظى باحترام كبير (العاشر من بين 178) في امتحانات أول العام 1831، لكن على الرغم من أنه كشف عن قدرة علمية ممتازة، فإن ســبيله ليكون قسيسا بدت أكثر وضوحا عن ذي قبل. ومنذ أن كان تشارلز في كيمبريدج لم يكف إرازموس عن محاولة إقناع أبيه بأن الحياة الطبية لا تلائمه ومن ثم ســمح له أبوه بالتخلي عن مهنته الموعودة وهو في الخامسة والعشــرين من العمر، كما سمح له بالإقامة في لندن مع منحة مالية، وقد يبدو د. روبرت متســاهلا في ذلك، إلا أنه كان يريد بطبيعة الحال أن يرى واحدا على الأقل من أبنائه وقد استقر به المقام في مهنة محترمة.

وأمضى تشــارلز صيف العام 1831 فيما ظن بالضرورة أنه سيمثل آخر بعثاته الجيولوجية الكبرى عاكفا على دراسة صخور ويلز، قبل عودته إلى ذي ماونت في 29 أغســطس. ووجد هناك رسالة غير متوقعة على الإطلاق من أحــد معلميه في كيمبريدج يدعى جورج بيكــوك. حمل بيكوك إليه دعوة من صديقه كابتن فرنســيس بيوفورت (1774–1857) من الأدميرالية البحرية (واشتهر اسمه مقترنا بمقياس قوة الرياح الذي يحمل اسمه)، وتفيد الرسالة بأن الأدميرال يدعو داروين لكي ينضم إلى بعثة مساحة استكشافية على متن ســفينة جلالة الملكة «السفينة بيغل» تحت قيادة كابتن روبرت فيتزروي، الذي يبحث عن شخص ملائم ليصحبه في الرحلة الطويلة ويفيد في الوقت نفسه من هذه الفرصة لدراســة التاريخ الطبيعي والجيولوجيا في أمريكا الجنوبية خاصة. واقترح هينســلو اسم داروين، والذي أرسل إليه هو أيضا رسالة يحثه علــى أن يغتنم الفرصة. ولم يكن داروين عمليا هو الاختيار الأول لهذه المهمة - إذ فكر هينسلر لفترة وجيزة في أن ينتهز هو هذه الفرصة لنفسه، وتراجع أحد تلامذته عن الذهاب ليعمل قسيسا في بوتيشام، وهي قرية في ضواحي كيمبريدج. بيد أنه حتما يملك المؤهلات الصحيحة، إذ إن فيتزروي يريد أحد

السادة الوجهاء، ومن أبناء طبقته هو، بحيث يتعامل معه على قدم المساواة أثناء الرحلة الطويلة بدلا من أن يبقى معزولا عن أي اتصال اجتماعي بسبب وضعه الرئاسي كربان السفينة. ويتعين كذلك على هذا السيد النبيل أن يدفع بطبيعة الحال تكلفة رحلته، هذا فضلا عن أن الأدميرالية تتمنى أن يكون باحثا طبيعيا موهوبا لكي يستثمر الفرص التي تتيحها له البعثة الاستكشافية إلى أمريكا الجنوبية (وربما) حول العالم. وعندما اقترح هنسلر (من خلال بيكوك) اسم داروين أصاب الاسم وترا جديدا. ريتشارد إدجورث كان واحدا من أقرب أصدقاء إرازموس داروين الجد. جدير بالذكر أن ريتشارد إدجورث هذا تزوج برغبته أربع زيجات سعيدة، وأنجب 22 طفلا. وحيث إن إدجورث كان أصغر من إرازموس باثني عشرة عاما، فقد تزوج الزيجة الرابعة والأخيرة العام 1798، وكانت زوجته هذه المرة هي ميس فرنسيس بيوفورث، وعمرها 29 سنة، وهي أخت فرانسيس بيوفورت الذي كان في العام 1831 يعمل إخصائيا في خرائط المساحة البحرية في الأسطول الملكي. لذلك فإنه حين كتب بيوفورت رسالة إلى فيتزروي مزكيا له الشاب تشارلز لدور الرفيق والباحث الطبيعي في الرحلة، أسعده كثيرا هذا الاقتراح، وأسعده أن يصفه بقوله السيد داروين حفيد الفيلسوف والشاعر العظيم - وغمره شعور بالحماس والإقدام على الرغم من أنهما لم يلتقيا قبل ذلك أبدا(*).

رحلة السفينة بيغل

كانت هناك بعض العوائق التي يتعين التغلب عليها قبل الإقرار النهائي لدور داروين على متن السفينة بيغل. أولها أبوه (الذي سيمول تكاليف رحلة الفتى تشارلز)، إذ اعترض على ما تصوره مخططا نزقا آخر لابنه، ولكن جوسياه ويدجورد الثاني، عم تشارلز داروين استطاع إقناع الأب. ثم هناك أيضا فيتزروي (وهو رجل متقلب المزاج) الذي اعترض على الطريقة التي تم بها، حسب تصوره، فرض داروين عليه دون إرادته، ولكن أمكن تهدئة الأمور وتسييرها في سلاسة بعد أن تقابل داروين وفيتزروي معا وتدبرا الأمر سويا. وهكذا أمكن تسوية كل الأمور، وتهيأت السفينة بيغل، وهي سفينة ذات ثلاثة

(*) الاقتباس من براون.

صوار طولها لا يزيد على 90 قدما (27 مترا)، وأبحرت في 27 ديسـمبر العام 1831، بينما لم يتجاوز تشـارلز داروين الثالثة والعشرين من العمر. ونحن لسنا هنا بحاجة إلى الدخول في تفاصيل دقيقة عن السـنوات الخمس التي قضتها الرحلـة (التي دارت حول العالـم في الحقيقة)، لكن ثمة بضع نقاط جديرة بأن نأتـي على ذكرهـا هنا. أولا، لم يكـن داروين حبيس مكانه طـوال هذه الفترة على متن السـفينة بل انطلق في بعثات استكشافية طويلة عبر أمريكا الجنوبية بخاصة بينما السـفينة مشـغولة في إنجاز أعمال المسـاحة الرسـمية. ثانيا، صنع لنفسه اسما في الأوسـاط العلمية باعتباره باحثا جيولوجيا، وليس باحثا بيولوجيا، وذلك بفضل الأحفوريات والعينات الأخرى التي أرسـلها إلى إنجلترا أثناء الرحلة. وثمة أخيرا نقطة تفصيلية يتعين ذكرها بوجه خاص، عاش داروين في شيلي تجربة زلزال كبير وشهد بأم عينيه مدى الفوضى والاضطرابات التي أصابت الأرض وكيف ارتفعت إلى سطح الأرض أكداس المحار في صورة طبقات على ظهر الأرض لتجف وقد بلغ ارتفاعها عدة أقدام (نحو المتر) فوق الشـريط السـاحلي. وبدا له هذا تأكيدا مباشرا وعيانيا يؤكد الأفكار التي دعا إليها ليل في كتابه «مبادئ الجيولوجيا». وجدير بالذكر أن داروين حمل معه المجلد الأول من الكتاب أثناء الرحلة، ووصله المجلد الثاني أثناء البعثة الاستكشـافية، بينما ينتظـره المجلد الثالث لحين عودته إلى إنجلترا في أكتوبر العام 1836، وبالنظر إلى العالم بعيني ليل، أصبح داروين واحدا من المؤمنين إيمانا راسخا بالنظرية التماثليـة، وكان لهذا أثره العميق على تطور أفكاره بشـأن التطور البيولوجي، وهذا هو ما عبر عنه داروين في أواخر حياته حين قال:

> أشـعر دائما وكأن نصف كتبي من نتـاج مخ ليل، وإن كنـت لم أقر أبدا بذلك على نحـو كاف... واعتقدت دائما أن أعظم قيمة نحن مدينون بها لكتاب المبادئ تتمثل في أن هذا الكتاب غير منحى تفكيري بالكامل(*).

وعاد داروين إلى أرض الوطن ليلقى استقبالا حافلا لم يكن ليحلم به، والذي يقينا أثار في نفس الأب حيرة وشعورا بالبهجة والرضا. وسارع بالتقاء ليل نفسه، والذي قدمه كند لنجوم العالم من الباحثين الجيولوجيين. وفي

(*) رسالة تضمنها كتاب جوناثان هووارد «داروين».

يناير 1837، قدم ورقة بحث للجمعية الجيولوجية في لندن موضوعها الهضبة الساحلية في شيلي (أهم اكتشافات رحلته) وانتخبته الجمعية على الفور زميلا لها (ولعل من المهم الإشارة إلى أنه لم يصبح زميلا لجمعية علم الحيوان إلا بعد العام 1839، وهو العام نفسه الذي انتخبته فيه الجمعية الملكية زميلا لها). واشتهر داروين كعالم جيولوجيا، ثم سرعان ما أصبح كاتبا معترفا به مثل لييل. وكان أول مشروعات داروين «صحيفة البحوث العلمية (Journal of Researches)»[*]، والتي كتب فيها داروين عن أنشطته خلال الرحلة، هذا بينما كتب فيتزروي عن الجوانب البحرية. وسرعان ما أتم داروين حصته من العمل، معتمدا على يومياته، غير أن النشر أرجئ حتى العام 1839 بسبب التزامات فيتزروي التي لم تهيئ له فرصة كافية للكتابة، أو لنكن صرحاء ولنقل لأن فيتزروي لم يكن كاتبا كفؤا كما يجب. وأحس فيتزروي بقدر من الأسى حين بدا واضحا أن الجزء الخاص بداروين في الكتاب صادف اهتماما أوسع بكثير من الجزء الخاص به هو، وسرعان ما أعيد نشر الجزء الخاص بداروين في كتاب مستقل تحت عنوان «رحلة السفينة بيغل».

كان العام 1839 عاما مهما ومشحونا بالإنجازات في حياة داروين، ففي هذا العام أكمل الثلاثين من عمره، وشهد إصدار «الصحيفة»، وأصبح زميلا للجمعية الملكية كما تزوج ابنة عمه إيما ويدجوود. ويعتبر هذا العام حدثا مهما أيضا في إطار ما وصفه فيما بعد بأنه أهم مرحلة إبداعية فكرية منذ عودته من رحلة السفينة بيغل العام 1836 وحتى تركه لندن واستقراره مع أسرته الجديدة في كنت العام 1842، بيد أنه خلال هذه الفترة كذلك بدأ يعاني من سلسلة من الأمراض التي أورثته ضعفا ووهنا في صحته. ولم يتحدد بالدقة سبب تلك الأمراض عن يقين ولكن الأرجح أنها نتيجة مرض أصابه في المنطقة الاستوائية. وترك داروين لندن التي استقر فيها في البداية إثر عودته إلى إنجلترا، لسبب مهم هو الاضطرابات السياسية السائدة وقتذاك، حيث كان الإصلاحيون من أمثال «الميثاقيون»

(*) عنوان الصحيفة كاملا: صحيفة البحوث العلمية في الجيولوجيا والتاريخ الطبيعي للبلدان المختلفة التي زارتها سفينة جلالة الملكة «بيغل» بقيادة الكابتن فيتزروي من العام 1832 حتى العام 1836م.

(Chartists) يتظاهرون في طرقات العاصمة ويوقفهم الجيش للتفتيش. وانتقلت عائلة داروين إلى داون هاوس، في قرية داون، في مقاطعة كنت (وتغير اسم القرية بعد ذلك إلى داون، وإن ظل البيت على اسمه القديم).

ونعم تشارلز وإيما بحياة زوجية سعيدة ومديدة، لم يفسدها سوى مرضه الذي يعاوده مرارا وكذا الوفاة الباكرة للعديد من أطفالهما. بيد أنهما أنجبا الكثيرين ممن بقوا على قيد الحياة، واستطاع بعضهم أن يبني لنفسه وضعا متميزا. وليام، الابن البكر، عاش من العام 1839 وحتى العام 1914، وجاءت من بعده آن (1841-1851)، ثم ماري (توفيت بعد ولادتها بثلاثة أسابيع، 1842)، وهنرييتا (1843-1930)، وجورج (1845-1912)، واليزابيث (1847-1926)، وفرنسيس (1848-1925)، وليونارد (1850-1943)، وهوراس (1851-1928) وتشارلز (1856-1858). وجدير بنا إعادة النظر إلى تاريخي ميلاد ووفاة ليونار، إذ كان ميلاده قبل صدور كتاب «أصل الأنواع»، وامتد به العمر طويلا إلى ما بعد انشطار الذرة، مما يعطينا فكرة عن سرعة إيقاع حركة تغير العلم خلال قرن من 1850 حتى 1950. لكن حياة الأسرة ليست ما يعنينا هنا، إلا ما يتعلق منها كخلفية مستقرة داعمة لجهود تشارلز داروين العلمية. إن ما يعنينا هنا هو جهود داروين العلمية وبخاصة نظرية التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي.

داروين يستحدث نظريته عن التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي

لم يدر بخلد داروين وقت عودته من رحلته (إن لم نقل وقبلها أيضا) أي شك في أن التطور حقيقة. وإنما تمثل اللغز في اكتشاف آلية طبيعية تفسر هذه الحقيقة، نموذج أو نظرية توضح كيف يسير التطور. استهل داروين العام 1837 أول مذكراته بعنوان «تحول الأنواع»، واستحدث أفكاره عن التطور بشكل شخصي وخاص بينما كان ينشر أوراق بحثه عن الجيولوجيا التي كان لها دور قاطع في حسم الجدل الدائر بين أصحاب الاتجاه التماثلي والاتجاه الكارثي (Catastrophist) لصالح الأول. وخطا داروين خطوة رئيسية في خريف العام 1838، قبيل زواجه، حين قرأ الكتاب المشهور من تأليف توماس

مالتوس (1766-1834) بعنوان «مقال عن المبدأ الأساسي للسكان»(*) (Essay on the Principle of Population) الذي صدر أول الأمر دون اسم صاحبه العام 1798، لكن داروين قرأ الطبعة السادسة (الموقعة باسم صاحبها هذه المرة). والمعروف أن مالتوس درس في كيمبريدج، وسبق ترسيمه كاهنا العام 1788، وكتب النص الأول للمقال أثناء عمله قسيسا، ولكنه اشتهر بعد ذلك كعالم اقتصاد وأول أستاذ بريطاني في الاقتصاد السياسي. وأوضح في مقاله أن السكان، بمن فيهم السكان البشر، لديهم القدرة على النمو بسرعة هندسية بحيث يتضاعفون خلال فترة بذاتها ثم يتضاعفون ثانية، خلال الفترة التالية أي ضعف الحجم نفسه، وهكذا. وجدير بالذكر أنه وقت كتابته لمؤلفه هذا كان البشر من سكان أمريكا الشمالية يتضاعفون بالفعل كل خمس وعشرين سنة، وليس مطلوبا لتحقيق هذا الهدف سوى أن كل زوجين ينجبان في المتوسط العام عند بلوغهما 25 سنة أربعة أطفال يبقون على قيد الحياة إلى سن 25، وطبيعي أن خصوبة أسرة داروين جعلته على ألفة كاملة وفورية بمدى تواضع هذا الشرط.

وفي الحقيقة لو أن كل زوج من الثدييات - حتى أبطأها تناسلا، مثل الفيلة - أنتج أربعا فقط من الذرية وبقيت وتوالدت بدورها، فإن كل زوج من الأزواج الأول يكون قد أنتج ذرية على مدى 750 سنة تبلغ 19 مليون نسلا. ولكن يبدو واضحا، كما أكد مالتوس، أنه لايزال يوجد العدد نفسه من الفيلة حتى أواخر القرن الثامن عشر مثلما كانت العام 1050، واستنتج من ذلك أن التجمعات السكانية يكبحها وباء الطاعون والحيوانات المفترسة، كما تكبحها بوجه خاص محدودية كميات الطعام المتاحة (وكذلك الحروب بالنسبة للبشر). معنى هذا أن كل زوج يخلف وراءه في المتوسط العام اثنين فقط من ذريته، إلا في حالات خاصة مثل غزو أراض جديدة لاستعمارها، كما حدث بالنسبة لأمريكا الشمالية. وإذا سارت الطبيعة في مجراها الطبيعي فإن الغالبية العظمى من الذرية تموت دون تكاثر.

واستخدم رجال السياسة في القرن التاسع عشر حجج مالتوس لتأكيد أن الجهود المبذولة لتحسين جمهرة الطبقات العاملة مآلها إلى الفشل، نظرا إلى أن أي تحسينات في ظروف المعيشة ستؤدي إلى مزيد من عدد الأطفال الذين

(*) لايزال في الإمكان أن نجد المقال مطبوعا في طبعة صورها أنطوني فلو.

يبقون على قيد الحياة. وطبيعي أن الزيادة السكانية الناجمة عن ذلك سوف تبتلع الموارد التي أمكن تطويرها، بما يعني أن المزيد من البشر سيظلون يعانون من حالة الفقر المدقع دون تغيير (*). لكن داروين، في خريف العام 1838، قفز إلى نتيجة مغايرة. وها هنا نجد العناصر الأولية لنظرية توضح كيف يعمل التطور، ضغط سكاني، وصراع للبقاء بين أبناء النوع نفسه (إنه بدقة أكثر يمثل بطبيعة الحال صراعا للتناسل والتكاثر) والبقاء (التكاثر) فقط لأكثر الأفراد قدرة على التكيف (الأصلح بمعنى تلاؤم المفتاح مع القفل أو تلاؤم إحدى قطع أحجية الصور المقطعة، وليس بالمعني الرياضي للصراع والغلبة).

صاغ داروين تخطيطا عاما لهذه الأفكار في وثيقة حدد المؤرخون تاريخها بعام 1839، وتتألف الوثيقة من 35 صفحة وأثبت بنفسه تاريخها وهو 1842، واكتملت نظرية التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي قبل أن ينتقل داروين إلى داون هاوس، وناقشها مع عدد من الزملاء الثقات، من بينهم ليل (الذي لم يقتنع بها، مما أدى إلى شعور داروين بخيبة أمل). وحجب داروين فكرته هذه لعقدين من الزمن، وذلك خوفا من رد الفعل العام إزاء النظرية، حتى لا يغضب زوجته إيما، وهي المسيحية الملتزمة، هذا على الرغم من أنه في العام 1844 طور عمليا مخططه العام وصاغه في مسودة مؤلفة من 50.000 كلمة، والتي تمثل 189 صفحة، ونسخها له بخط واضح دقيق ناظر مدرسة محلية وتركها وسط أوراقه مع مذكرة صغيرة إلى إيما راجيا منها نشرها بعد وفاته.

أو لنقل إنه على الأرجح لم يقتنع بإرجائها. ذلك أنه في الطبعة الثانية من كتابه «رحلة السفينة بيغل» الذي عكف عليه العام 1845، أضاف داروين قدرا كبيرا من المادة العلمية الجديدة المتناثرة هنا وهناك بين الصفحات. وأوضح هوارد غروبر أن من اليسير تحديد الفقرات من خلال مقارنة الطبعتين إحداهما بالأخرى، وقال أيضا إننا إذا أخرجنا كل المادة الجديدة وربطناها بعضها ببعض فإنها تشكل «مقالا يكاد يعرض صورة كاملة لكل فكره» عن التطور من خلال الانتخاب الطبيعي(*). والتفسير الوحيد لذلك هو أن داروين كان معنيا بالأجيال القادمة وبأولوياته. إذ لو أن أي شخص

(*) العوار الذي يشوب هذه الحجة يمكن إيجازه في كلمة واحدة كانت بمنزلة أحد المحرمات في العصر الفيكتوري - موانع الحمل.

توصل إلى الفكّرة، فإنه بوسعه إبراز هذا المقال «الشبح» للكشف عن أنه قد فكر فيها أولا. وقرر أن من الأفضل له أن يتخذ لنفسه اسم عالم بيولوجي، وذلك لكي يكون من المرجح أكثر أن تحظى نظريته بالقبول إذا ما قرر في نهاية المطاف نشرها في كتاب. وبدأ العمل في العام 1846 (بعد عشر سنوات من عودته إلى الوطن على متن السفينة بيغل)، واستهل عمله بدراسة مستفيضة على القشريات البحرية المعروفة باسم «البرنقيل»، معتمدا في جزء منها على ما توافر لديه من مادة علمية عن أمريكا الجنوبية. وتمثل حصاد الدراسة في كتاب من ثلاثة مجلدات اكتمل العام 1854، كان إنجازا مذهلا لرجل ليست له شهرة سابقة في هذا المجال، رجل هده المرض في أوقات كثيرة، فضلا عن أنه شهد خلال هذه الفترة وفاة أبيه العام 1848 ثم وفاة ابنته آني الأثيرة لديه العام 1851، واستحق على إنجازه هذا الميدالية الملكية التي منحتها إياه الجمعية الملكية وهي أرفع جائزة لعالم طبيعيات. وأصبح اسمه ولأول مرة معتمدا كعالم طبيعيات من المرتبة الأولى توافر لديه فهم شامل للفوارق الدقيقة بين الأنواع قريبة الصلة بعضها بالبعض. بيد أنه ما فتئ يتردد بشأن نشر أفكاره عن التطور. ولكن بعد إلحاح عدد قليل من أقرب الأصدقاء الثقات ممن ناقشهم في فكرته هذه، بدأ في منتصف خمسينيات القرن التاسع عشر في إعادة تجميع مادته العلمية وتنظيمها في ما تصوره حسب خطته الموضوعه، كتابا ضخما غنيا بعرض البراهين المفحمة التي تطيح بأي معارضة. ويقول في سيرته الذاتية «نذرت كل وقتي من سبتمبر 1854، وما بعد ذلك لتنظيم الأكداس المهولة من مذكراتي، ومن مشاهداتي، وتجاربي، وكل ما يتعلق بتحول الأنواع». وكان من المشكوك فيه أن يرى مثل هذا الكتاب النور في حياة داروين، ولكنه اضطر لإصداره للعامة عندما توصل عالم طبيعيات آخر إلى الفكرة نفسها.

ألفريد رسل والاس

الإنسان الآخر هو الفريد رسل والاس، عالم طبيعيات اتخذ مقره في الشرق الأقصى، بلغ الخامسة والثلاثين من عمره في العام 1858 أي العمر نفسه الذي بلغه داروين في العام 1844، وقتما استحدث الإطار التفصيلي الكامل لنظريته. ونلحظ تباينا مذهلا بين حياة داروين الموسرة وحياة والاس

التـــي اتصفت بالصراع من أجل البقاء، وجدير بنـــا إبراز هذا كمثال يوضح كيف أن العلم في ذلك الزمان بدأ يكف عن أن يكون حكرا وامتيازا مقصورا علـــى أبناء النبلاء الذين يتخذون العلم هواية. ولد والاس في 8 يناير 1823 في أوســـك في مقاطعة مونماوث شاير (غوينت الآن)، وهو الابن الثامن من بين تســـعة إخوة لعائلة عادية، وقد كان أبوه محاميا غير ناجح. وتلقى الأبناء التعليم الأساسي في البيت على يدي الأب. وانتقلت الأسرة العام 1828 إلى دولويتش لفترة قصيرة، ثم اســـتقرت في هارتفورد، وهي البلدة التي نشأت فيهـــا أم الفريـــد. والتحق هنـــاك كل من الفريد وأحد إخوتـــه ويدعى جون بالمدرســـة الثانويـــة بالبلدة، ولكن ألفريد اضطر إلى ترك المدرســـة وهو في الرابعة عشـــرة من العمر لكي يتكسب رزقه. ويقول والاس في سيرته الذاتية المنشـــورة العام 1905 تحت عنوان «حياتي» إن المدرســـة أثـــرت فيه تأثيرا ضعيفـــا، ولكنه قرأ بنهم كثيرا من مجموعة كتب أبيه الكثيرة والمتنوعة، وكذا الكتب التي أتيحت له وقتما كان الأب يدير مكتبة صغيرة في هارتفورد. وفي العـــام 1837 (وقتما كان داروين قد عاد بالفعل من رحلته الشـــهيرة)، ذهب والاس للعمل مساحا مع أخيه الأكبر وليام. ووجد متعة بالغة في حياة الهواء الطلق، وأسرته الأنواع المختلفة من طبقات الصخور التي كشفت عنها أعمال حفر القنـــاة وتمهيد الطرق، كما أثارت اهتمامه الأحفوريات التي تكشـــفت أثناء العملية. ولكن كان العائد من المال والطموحات في عمل المساحة ضئيلا وقتذاك، لذلك سرعان ما عمل والاس تلميذا مهنيا لدى صانع ساعات، وما كاد يلتحق بهذا العمل حتى تخلى عنه لا لشـــيء ســـوى لأن صانع الساعات انتقـــل إلى لندن ولـــم يرد أن يتبعه. وهكذا عاد ثانية إلى عمل المســـاحة مع وليـــام، ولكنه عمل هذه المرة ضمن برنامج تســـييج الأرض وســـط ويلز، ولم يكـــن لـــدى والاس آنذاك أي تقدير للآثار السياســـية، لكنـــه أدين بعد ذلك بسبب «سرقة الأرض» (*)، وتحول الأخوان أيضا إلى العمل في البناء ووضع التصميمات بأنفســـهما، ويبدو أنهما حققا نجاحـــا على الرغم من أنهما لم يتدربا على فن العمارة، واعتمدا على ما تحصل لديهما من معرفة اكتسباها مـــن الكتب. وأيا كان الأمر فإن ألفريد والاس بدأ يهتم أكثر بدراســـة العالم الطبيعي وقراءة الكتب الخاصة بذلك، كما شـــرع في عمل مجموعات علمية من الزهور البرية.

(*) «حياتي».

وانتهت هذه الأيام الطيبة نسبيا في العام 1843، مع وفاة الأب ألفريد، واختفاء أعمال المساحة بعد أن وقعت البلاد في قبضة كساد اقتصادي (في هذه الفترة كان داروين قد استقر في داون هاوس وفرغ من تسجيل إطارين لنظريته عن الانتخاب الطبيعي). وعاش ألفريد بضعة شهور في لندن مع أخيه جون (يعمل بالبناء)، مكتفيا بالعيش على ميراث ضئيل. ونفد ميراثه في العام 1844، ومن ثم سعى للحصول على وظيفة في مدرسة في ليستر لتعليم مبادئ القراءة والكتابة والحساب للصغار، وتعليم المساحة للكبار (ويبدو أن المساحة كانت السبب الرئيسي في حصوله على الوظيفة، نظرا إلى أن أي إنسان يمكنه أن يعلم مبادئ القراءة والكتابة والحساب). وحصل على راتب سنوي قدره 30 جنيها إسترلينيا، وهذا ما يجعلنا نقارن بين هذا وبين مبلغ 50 جنيها إسترلينيا ينفقها الفتيان تشارلز وإرازموس داروين من أجل بناء معمل كيمياء في البيت. وبلغ والاس الآن الحادية والعشرين من العمر، أي أصبح أصغر من داروين بعام واحد وقتما تخرج داروين في كيمبريدج، وهو أسير وظيفة عاطلة من أي تطلعات للمستقبل. لكن شهدت ليستر خلال هذه الفترة حادثين مهمين في حياته. إذ إنه قرأ كتاب مالتوس «مقال» لأول مرة (وإن لم يحدث في البداية أثرا حاسما في تفكيره) والتقى عالم طبيعيات هاويا ومتحمسا لعلمه، وهو هنري بيتس (1825-1892)، وبدا واضحا أن اهتمام بيتس بعلم الحشرات يكمل تماما اهتمام والاس بالأزهار.

ووقعت مأساة عائلية أنقذت والاس (باعترافه هو) من حياة العمل مدرسا من الدرجة الثانية. إذ في فبراير 1845 توفي أخوه وليام بمرض التهاب رئوي، وبعد تسوية الأمور الخاصة بوليام، قرر ألفريد أن يتولى هو أعمال المساحة التي كانت منوطة به واستقر في بلدة نيت في جنوب ويلز. وحالفه الحظ هذه المرة، نظرا لتوافر كميات كبيرة من الأعمال اللازمة مع انتعاش حركة مد السكك الحديدية في تلك الفترة. واستطاع أن يدخر لنفسه على عجل رأسمال صغيرا لأول مرة في حياته. وأحضر أمه وأخاه جون للعيش معه في نيت، واستطاع بمساعدة أخيه جون التوسع في أعمال العمارة والبناء. وازداد اهتمامه بالتاريخ الطبيعي وتدعم بفضل مراسلاته مع بيتس. ولكن بدأ والاس يدهمه شعور متزايد بالإحباط؛ وخاب أمله فيما يتعلق بمشروع أعمال يجعله مستحقا للمال كدائن، بينما سداد الدين رهن الأجل والتسويف. ولازمه

شعور بالاكتئاب كلما التقى دائنين لا يملكون في حقيقة الأمر ما يدفعونه. وزار باريس في سبتمبر 1847، وزار أثناءها حديقة النباتات. وعقب هذه الزيارة طرأت على ذهن والاس فكرة تجسد مخططا لتغيير حياته كاملا، واقترح على بيتس أن بالإمكان الاستفادة من كم المال الصغير الذي ادخره لتمويل بعثة استكشافية لرجلين إلى أمريكا الجنوبية. ورأى بالإمكان بعد وصولهما إلى هناك أن يوفر المال اللازم لعملهما في مجال التاريخ الطبيعي عن طريق إرسال عينات إلى بريطانيا لبيعها هناك للمتاحف والأثرياء من هواة اقتناء مجموعات خاصة بهم، وهم موجودون دائما (ويرجع الفضل في ذلك جزئيا إلى رواية داروين عن رحلة السفينة بيغل) ويتطلعون في شوق إلى غرائب وتحف المنطقة الاستوائية. وقال والاس في سيرته الذاتية، وهو المؤمن إيمانا راسخا بالتطور حتى قبل الشروع في هذه البعثة الاستكشافية، «إن المشكلة الكبرى فيما يتعلق بأصل الأنواع أصبحت واضحة الصياغة في عقلي... إنني أؤمن إيمانا راسخا بأن أي دراسة كاملة ومدققة لحقائق الطبيعة ستقودنا في نهاية المطاف إلى حل لهذا اللغز».

قضى والاس قرابة أربع سنوات يستكشف ويجمع عينات داخل أدغال البرازيل في ظروف اتصفت في غالب الأحيان بالمشقة والصعوبة. وحصل والاس أثناء ذلك على الخبرة المباشرة ذاتها عن عالم الأحياء التي توافرت لداروين أثناء رحلة السفينة بيغل، وساعده هذا على أن يؤسس لنفسه شهرة كعالم طبيعيات بفضل أوراق البحث المنشورة كثمرة لجهوده في هذا المجال، فضلا عن العينات التي جمعها. ولكن البعثة الاستكشافية لم تحقق نجاحا كاملا جديرا بأن يزهو به. ذلك أن هربرت، أخو ألفريد الأصغر والذي سافر إلى البرازيل ليلحق به في العام 1849، توفي متأثرا بمرض الحمى الصفراء العام 1851، وظل ألفريد ينحو باللائمة على نفسه بسبب موت أخيه قائلا إن هربرت ما كان له أن يذهب إلى البرازيل لولا أن ألفريد سبقه إلى هناك. ويبدو على الأرجح أن ألفريد والاس وافته المنية أيضا نتيجة مغامرته في أمريكا الجنوبية. ذلك أنه وهو عائد في طريقه إلى الوطن على متن السفينة هلين المحملة بشحنة من المطاط، اشتعلت النيران في السفينة وغرقت وغرقت معها أفضل العينات التي جمعها والاس. وقضى البحارة والمسافرون عشرة أيام في عرض البحر

في قوارب قبل إنقاذهم. عاد والاس إلى إنجلترا في أواخر العام 1859، وهو مفلس تماما على وجه التقريب (على الرغم من بعد نظره وادخار مبلغ 150 جنيها إسترلينيا)، وصفر اليدين لا يملك شيئا يبيعه غير مجموعة مذكرات اتخذها أساسا للعديد من أوراق البحث العلمية، وكذا لكتابه «سردية الأسفار في الأمازون وريو نغرو» (Narrative of Travels in the Amazon and Rio Negro) والذي حقق نجاحا متواضعا. بقي بيتس في أمريكا الجنوبية، وعاد بعد ثلاث سنوات ومعه كل عيناته كاملة سليمة. ولكنه عاد بينما كان والاس في رحلة على الجانب الآخر من العالم.

وعلى مدى الستة عشر شهرا التالية واظب والاس على حضور اجتماعات علمية ودراسة الحشرات في المتحف البريطاني، ووجد بعض الوقت لقضاء عطلة قصيرة في سويسرا والتخطيط لبعثة استكشافية ثانية. والتقى أيضا داروين في تجمع علمي انعقد في مطلع العام 1854، لكن أيا منهما لم يذكر بعد ذلك أي تفاصيل عن هذه المناسبة. وبدأ الاثنان، وهذا هو الأهم، مراسلات متبادلة وذلك نتيجة اهتمام داروين للحصول على ورقة بحث كتبها والاس عن قابلية تغير أنواع من الفراش في منطقة حوض الأمازون: وأفضى هذا إلى أن أصبح داروين واحدا من عملاء والاس، إذ اشترى عينات سبق أن أرسلها من الشرق الأقصى وحدث أن اشتكى أحيانا (ولكن بأسلوب رفيق) في مذكراته من كلفة شحنها في السفن لإرسالها إلى لندن. وسافر والاس إلى الشرق الأقصى حين قرر أن أفضل سبيل لمتابعة اهتمامه بمشكلة الأنواع هو زيارة إحدى مناطق العالم التي لم يسبق لعلماء الطبيعيات استكشافها بما يعني أن العينات التي يرسلها إلى إنجلترا ستكون أكثر قيمة (عمليا وماليا على السواء)، ومن ثم فإن عائد بيعها يوفر له دخلا كافيا لدعم احتياجاته. وأجرى دراسات في المتحف البريطاني، كما أجرى محادثات مع علماء الطبيعيات. وأقنعته دراساته ومحادثاته بأن أرخبيل الملايو يلائم برنامجه المستهدف، ومن ثم كابد لجمع المال الكافي ليشرع في رحلته العام 1854، وذلك قبل حوالي ستة أشهر من الوقت الذي شرع فيه داروين في تنظيم أكداسه الضخمة من المذكرات، والتي يجمعها هذه المرة بصحبة مساعده تشارلز آلن البالغ من العمر ستة عشرة عاما.

حققت رحلة والاس هــذه المرة نجاحا منقطع النظير، على الرغم مما عاناه للمرة الثانية من مشــاق السفر في المناطق الاستوائية التي لم يزرها ســوى قلة قليلة من القربيين. بقي بعيدا عن الوطن ثماني ســنوات، نشر خلالها أكثر من أربعين ورقة بحث علمية أرسلها من هناك إلى صحف في إنجلترا، وعاد بكل مقتنياته من العينات التي جمعها ســليمة تماما. ويمثل جهده، في استقلال عن أفكاره عن التطور، عملا بالغ الأهمية إلى أقصى حد من أجل تأســيس ودعم الأطر الجغرافية للأنواع المختلفة، والذي بين بوضوح كيفية انتشــارها مــن جزيرة إلى أخرى (وهو ســوف يقترن فيما بعــد بفكرة زحزحة القــارات (Continental drift)، بيد أن التطور هو ما يعنينا هنا بطبيعة الحال. ونحن نعرف أنه، شــأن داروين، تأثر بفكر لييل الذي برهن على أن عمر الأرض ممتد دهورا (والذي ســماه داروين «هبة الزمان»)، كما برهن علــى أن تراكم التغيرات الطفيفة يمكن أن يؤدي إلى حدوث تغيرات كبرى، واستحدث والاس فكرة عن التطور الذي شبهه بتفرع شجرة ضخمة لها فروع مختلفة نبتت من جذع واحد أخذ يتشقق ويتقسم إلــى أغصان وفروع صغيرة، ولا يكــف عن اطراد النمو، وهو ما يتمثل في تنوع مطرد للأنواع الحية (كلها مســتمدة من أصل مشترك) والموجودة في عالم اليوم. وعرض هذه الأفكار في ورقة بحث منشــورة العام 1855 دون أن يقــدم، فيما يتعلق بهذه النقطة، أي تفســير يوضح كيف أو لماذا حدث التكوين التطوري للأنواع الحية Speciation (انقســام الأفرع إلى اثنين أو أكثر مع ارتباط وثيق بالأغصان الصغيرة الثابتة).

رحــب داروين وأصدقاؤه بورقة البحث، غيــر أن كثيرين، ومن بينهم لييل ســاورهم قلق لاحتمــال أن والاس أو غيره يمكن أن يســبق داروين وتكون له الأولوية ما لم يعجل داروين بنشر كتابه (ولم يكن لييل حتى الآن مقتنعا بفكرة الانتخــاب الطبيعي، ولكنه كصديق وعالم جيــد أراد أن تكون الفكرة مكتوبة لإثبات أولية وسبق داروين، ولكي تثير حوارا واسع النطاق). وجدير بالذكر أن المناخ الفكري أصبح وقتذاك مواتيا على نحو أفضل لفتح باب الحوار بشــأن التطور، على عكس الحال قبل عشــرين عاما. ولكــن داروين ما فتئ يرى أن لا داعي للإلحاح والعجلة واســتمر في فحــص وتصنيف ثروته من البراهين

الداعمة لفكرة الانتخاب الطبيعي. وعمد إلى التلميح في مراسلاته إلى والاس بأنه بصدد إعداد مثل هذا العمل للنشر دون أن يقدم أي تفصيلات عن النظرية. وكان الهدف تحذير والاس من أن داروين أسبق منه، ويحتل المقدمة في هذه المباراة تحديدا، لكنها أتت بأثر عكسي إذ شجعت والاس وحفزته لكي يسارع بتطوير أفكاره هو والوصول بها إلى مدى أبعد.

وجاء الفتح في فبراير من العام 1858، إذ بينما كان والاس طريح الفراش مريضا بالحمى في بلدة تيرنيت في جزيرة مولوكوس، قضى يومه بطوله يتفكر في مشكلة الأنواع. وتذكر وهو في هذه الحالة كتاب توماس مالتوس. وتساءل في دهشة لماذا بعض الأفراد من كل جيل يبقون على قيد الحياة بينما تموت الغالبية العظمى. وأدرك أن هذا ليس محض صدفة. إن من عاشوا وتكاثروا بدورهم لا بد أنهم أكثر تلاؤما مع الظروف البيئية السائدة في زمانهم. إن الأفراد الأقدر على مقاومة المرض يتجاوزون المرض ويمتد بهم العمر، مثلما أن الأسرع في العدو ينجو من الوحوش المفترسة وهكذا دواليك. «وفجأة ومضت في ذهني فكرة تفيد أن هذه العملية ذاتية الفعل والتأثير من شأنها بالضرورة أن تؤدي إلى تحسن السلالة، ذلك لأن العنصر الأدنى في كل جيل مآله الهلاك، بينما الأقوى سيبقى على قيد الحياة، أي أن البقاء للأصلح» (*).

وهذا هو جوهر نظرية التطور عبر الانتخاب الطبيعي. أولا، تشبه الذرية الأبوين، لكن كل جيل يحمل فوارق طفيفة بين الأفراد، وطبيعي أن الأفراد الأفضل ملاءمة مع البيئة يبقون على قيد الحياة للتكاثر، ومن ثم فإن الفوارق الطفيفة التي هي سبب نجاحهم تنتقل على نحو انتقائي أي يتم انتخابها لصالح الجيل التالي وتصبح معيارا للحالة السوية. ومع تغير الظروف أو عندما تحتل الأنواع أرضا جديدة (على نحو ما رأى داروين بالنسبة لطيور جزر غالاباجوس أو ما رآه والاس في أرخبيل الملايو)، تتغير الأنواع لتواكب الظروف الجديدة ومن ثم تظهر أنواع جديدة نتيجة لذلك، لكن الشيء الذي لم يعرفه داروين ولا والاس، والذي لن يتضح إلا في القرن العشرين هو كيفية حدوث قابلية التوريث (Heritability) أو مصادر حدوث التباينات والتغاير

(*) «حياتي»، أثبت هذا الكلام بعد الحدث بزمن طويل، وهو ما يفسر لنا استخدام والاس لعبارة «البقاء للأصلح» التي لم تظهر في الصياغات الأصلية الأولى لنظرية داروين، أو عند والاس نفسه.

(انظر فصل 14). ولكن تأسيسا على حقيقة قابلية التوريث التي نشاهدها مقترنة بتغيرات طفيفة، يفسر لنا الانتخاب الطبيعي كيف يمكن للتطور على مدى زمن كاف أن ينتج لنا ظبيا متكيفا مع أسلوب حياة الرعي، ونشأة العشب ذاته، وأن ينتج أسدا متكيفا مع التهام الظبي، أو ينتج طائرا يعتمد على نوع بذاته من الحب يتخذه طعاما له، أو أي نوع آخر على سطح الأرض، بما في ذلك البشر من سلف واحد بسيط ومشترك.

جدير بالذكر أن هذه البصيرة النافذة التي واتت والاس في فبراير العام 1858 وهو على فراش المرض هي التي قادته ليكتب ورقة بحث بعنوان «عن نزوع التنوعات إلى الحيود بشكل لا نهائي عن النمط الأصلي». وأرسلها إلى داروين مع رسالة شخصية يسأله رأيه في محتوي ورقة البحث. ووصلت الرسالة والبحث إلى داون هاوس في 18 يوليو 1858، وأحس داروين بالصدمة إذ رأى من استبق أفكاره تماما كما حذره ليل وآخرون من احتمال حدوث ذلك، وحدث ذلك مع صدمة أخرى شخصية، بعد عشرة أيام، توفي ابنه الرضيع تشارلز وارنغ داروين بالحمى القرمزية. وعلى الرغم من مشكلاته الأسرية، حاول داروين أن يتصرف باحترام مع والاس وأرسل ورقة البحث إلى ليل مع تعقيب يقول فيه:

> ثبت صدق كلامك إلى حد بعيد، سيكون هناك من سبقني... لم أشهد أبدا تطابقا أكثر إثارة. إذ لو أن مسودة مخططي العام التي كتبتها العام 1842 بين يدي والاس ما كان له أن يكتب موجزا لها أفضل مما كتب هو... وطبيعي أن أشرع فورا في كتابتها وأبعث بها إلى أي صحيفة (*).

ولكن ليل، بالاشتراك مع عالم الطبيعيات جوزيف هوكر (1817-1911). وهو عضو آخر ضمن أعضاء الدائرة الضيقة لداروين، وجدوا رأيا بديلا آخر. طلبا من داروين أن يترك الأمر بين أيديهما للتصرف (وشعر داروين بالسعادة إذ يتوليان المسؤولية بدلا منه إلى حين استعادة هدوئه بعد أن فقد تشارلز الصغير والتفرغ لمواساة إيما وإنجاز ترتيبات الجنازة)، وتوصل الاثنان إلى فكرة تقضي بإضافة الإطار العام الذي وضعه في العام

(*) انظر السيرة الذاتية التي حررها فرانسيس داروين.

1844 كموجـــز لنظريته إلى ورقة البحث التـــي كتبها والاس وتقديمها إلى جمعية لينايوس Linnean Society كنشـــر مشـــترك. وقرئت ورقة البحث أمـــام الجمعية في الأول من يوليو دون أن تحـــدث هزة كبيرة وقتذاك(*)، ثم صدرت حســـبما هو مرسوم لها تحت عنوان مثير «عن نزوع الأنواع إلى التبايـــن ودوام التباين والأنواع عن طريق الوســـائل الطبيعية للانتخاب»، تأليف تشارلز داروين المحترم زميل الجمعية الملكية، زميل جمعية لينايوس وزميل الجمعية الجيولوجية، وألفريد والاس المحترم، وتعليق ســـير تشارلز لييل زميل الجمعية الملكية وزميل جمعية لينايوس، وجي.

دي هوكـــر المحترم، دكتـــوراه في الطب ونائب رئيـــس الجمعية الملكية وزميل جمعية لينايوس.

نشر كتاب أصل الأنواع

ولعل القارئ توقع أن يشعر والاس بقدر كبير من الانزعاج إزاء التعامل مع بحثه بقدر من التعالي دون أخذ مشـــورته، لكن حقيقة الأمر أن والاس ابتهج لما حدث واعتاد دائما بعد ذلك الإشارة إلى نظرية الانتخاب الطبيعي باعتبارها الداروينية. وأكثر من هذا أنه ألف كتابا تحت هذا العنوان، وقال بعـــد ذلك في فترة متأخرة «النتيجة الإيجابية العظيمة التي أدعيها لورقة بحثي في العام 1858 أنها أرغمت داروين على كتابة ونشر «أصل الأنواع» دون مزيـــد من الإرجـــاء»(**) وهذا ما فعله، إذ أصدر جون موراي في 24 نوفمبـــر 1859 كتابـــا «عن أصل الأنواع من خـــلال الانتخاب الطبيعي أو الحفـــاظ على الســـلالات المتميزة في الصراع من أجـــل الحياة»، وأحدث الكتاب يقينا تأثيرا مذهلا ســـواء داخل المجتمع العلمي أو في العالم على اتساعه. وواصل داروين تأليف كتب أخرى مهمة كما واصل جمع مزيد من الثروة والاســـتمتاع بشيخوخته وســـط عائلته في داون هاوس حيث وافته المنيـــة في 19 أبريل 1882، لكنه مع هذا كله حرص على البقاء بعيدا عن الحوار العام بشـــأن التطور والانتخاب الطبيعي. وألف والاس بدوره مزيدا

(*) يقول داروين معقبا على ذلك في سيرته الذاتية: إنتاجنا المشترك أثار انتباها طفيفا، كما أن الملاحظة الوحيدة المنشـورة التي أتذكرها هي ملاحظة كتبها بروفيسور هوتون من دبلن، والذي قضى أن كل ما هو جديد في الورقتين زائف، والصواب فيها قديم.

(**) الاقتباس من ويلما جورج.

من الكتب وحقق نجاحا ولكن على مستوى أكثر تواضعا ولفترة من الزمن. ولكنه تحول إلى متحمس للروحانية مما أثر سلبا على شهرته العلمية. وصبغت آراؤه الروحانية أفكاره بصبغتها فيما يتعلق بالبشر، والقول بأنهم لا يخضعون للقوانين التطورية نفسها التي تخضع لها الأنواع الأخرى. وتزوج وهو في الثالثة والأربعين من العمر العام 1866 بآني متن، التي لم تتجاوز الثامنة عشرة من العمر، وأنجب الزوجان بنتا وابنا. ولكن نغصت عليهما حياتهما المشكلات المالية التي لم تخف إلا العام 1880، على إثر التماس هو في الأساس فكرة داروين وتوماس هكسلي(*)، ووقع عليه عديد من أبرز العلماء. وبناء على الالتماس قررت الملكة فيكتوريا منح والاس معاشا قدره 200 جنيه في السنة مدى الحياة. وانتخبته الجمعية الملكية زميلا لها العام 1893، وحصل على وسام الاستحقاق العام 1910، وتوفي في برودستون، في دورست في السابع من نوفمبر العام 1913. جدير بالإشارة أن تشارلز داروين هو أول عالم نلتقيه على صفحات هذا الكتاب والمولود بعد العام 1800، بينما ألفريد والاس هو أول من توفي بعد العام 1900، وعلى الرغم من كل إنجازات العلم في القرن التاسع عشر إلا أن إنجازهما هو الأهم والأبرز من دون منازع.

(*) يستحق هكسلي (1825-1895) أن تخصص له مساحة أكبر مما يمكن أن نخصه بها هنا، ليس فقط من أجل جهوده الخاصة العلمية وهي ذات شأن مهم وإن لم يكن فيها رائدا، أو حتى جزاء دوره كرفيق لداروين في الترويج لنظرية الانتخاب الطبيعي، إذ إن أهميته الحقيقية في تاريخ العلم تكمن في قدرته التي لا تعرف الوهن وفي دأبه من دون كلل لكي يحفز وينتزع طريقه صاعدا من أصوله المتواضعة لكي يصبح فيما بعد شخصية علمية رائدة، وناضل من أجل تعليم أفضل الطبقات العاملة. وكان فعالا في الكشف عن مراكز جديدة للتعليم لا يكون الالتحاق بها مقصورا على أبناء السادة والتي تم افتتاحها في لندن وبرمنغهام ومانشستر، وكذلك جامعة جون هوبكنز في بالتيمور. وأسهم في تأسيس العلم كمهنة يتقاضى عنها أصحابها راتبا وليس مجرد هدية لإشباع رغبة الأثرياء. ويا لها من مفارقة أنه في العام 1858 دعم بقوة قضية الهاوي سليل النبلاء داروين (الذي أيد كل ما يكرهه هكسلي فيما عدا أنه عالم نبيه) ولم يدعم قضية والاس من أبناء الطبقة العاملة وإذا كنا قصرنا الحديث على هكسلي، في هذه الإشارة، فإن عزاءنا أن القارئ في وسعه أن يجد كل ما يعنيه في هذا الشأن في كتاب رائع ألفه أدريان ديزمون عن تاريخ حياة هكسلي.

10

الذرات والجزيئات

«لكي نضع النظرية النسبية الخاصة في سياقها، يلزمنا أن نعود إلى الماضي، ونرى كيف تطور في القرن التاسع عشر أسلوبُ فهم طبيعة الضوء، وكيف قاد هذا آينشتين إلى إدراك أهمية الحاجة إلى إدخال تعديل على أكثر مبادئ العلم تقديسا، وهي قوانين الحركة عند نيوتن»

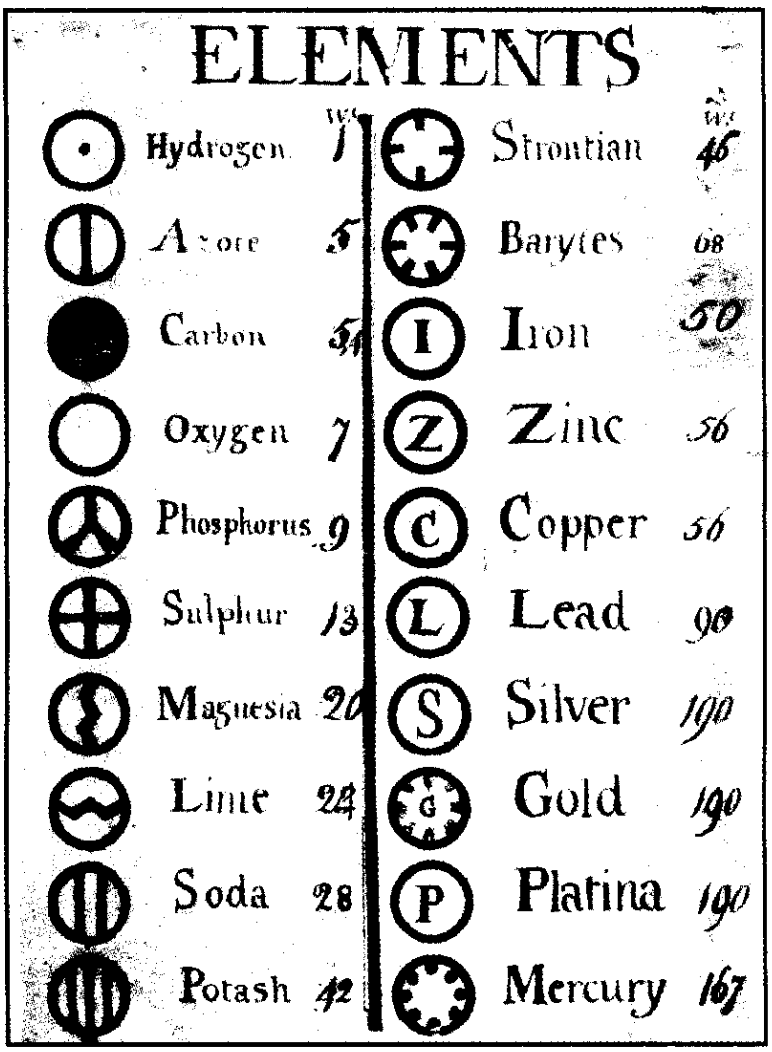
المؤلف

على الرغم من أن شخصية تشارلز داروين تهيمن على أي حوار بشأن العلم في القرن التاسع عشر، فإنه يمثل إلى حد ما استثناء من القاعدة. ذلك أن العلم خلال القرن التاسع عشر - وعلى مدى حياة داروين تقريبا - أنجز نقلة تحول معها من كونه هواية ومتعة أهل الثراء والفراغ، حيث يمكن لاهتمامات وقدرات فرد وحده أن يكون لها تأثيرها العميق، إلى مهنة يشارك فيها جمع غير قليل، ويعتمد التقدم فيها على عمل وجهد كثيرين يمكن التبديل والإحلال فيما بينهم إلى حد كبير. وهذا ما تشهد به حالة نظرية الانتخاب الطبيعي، إذ لو لم يكن داروين تقدم بالفكرة لكان

والاس، كما سبق أن رأينا، سيتقدم بها، وبدأنا من ذلك التاريخ فصاعدا نرى كيف أن الاكتشافات تحققت في وقت واحد بدرجة أو بأخرى على أيدي علماء من هنا وهناك يعمل كل منهم مستقلا عن الآخر ويكاد كل منهم لا يعرف شيئا عن الآخر. ولكن الوجه الآخر لهذه العملة يتمثل، للأسف، في أن تزايد عدد العلماء يقترن بتزايد حركة القصور الذاتي ويفضي إلى ممانعة للتغيير. معنى هذا أنه حين يتوصل امرؤ بذكائه الملهم إلى رؤية جديدة عميقة ونافذة بشأن الطريقة التي يعمل بها العالم، نجد في الغالب الأعم أن هذه الرؤية تلقى رفضا مباشرا لمصداقيتها، وتحتاج إلى جيل كامل حتى تجد مكانها الجدير بها داخل الإطار العلمي المعتمد.

سوف نشهد بعد قليل تجليا لهذا القصور الذاتي في التطبيق العملي متمثلا في حالة رد الفعل (أو الافتقار إلى رد الفعل) إزاء أفكار جون دالتون عن الذرات؛ وسوف يبين لنا في وضوح ويسر أيضا كيف نما العلم على مدى حياة دالتون. إذ مع ميلاد دالتون العام 1766، لم يكن هناك على الأرجح أكثر من 300 شخص يمكن إدراجهم آنذاك ضمن فئة العلماء في كل أنحاء العالم. كذلك فإنه بحلول العام 1800، وقتما شرع دالتون في إنجاز العمل الذي نذكره به الآن، كان هناك قرابة الألف من العلماء. ولكن مع وفاته في العام 1844، كان في العالم قرابة العشرة آلاف عالم، بينما بلغ عددهم بحلول العام 1900 نحو مائة ألف عالم. ويمكن القول على وجه التقريب إن عدد العلماء تضاعف كل خمسة عشر عاما خلال القرن التاسع عشر. ولكن حري بنا أن نتذكر أن جملة سكان أوروبا تضاعفوا من نحو 100 مليون إلى نحو 200 مليون فيما بين العامين 1750 و1850، وتضاعف سكان بريطانيا وحدها فيما بين 1800 و1850، إذ زاد عددهم تقريبا من 9 ملايين نسمة إلى 18 مليونا. ويزداد عدد العلماء عمليا بنسبة زيادة السكان، ولكن ليس بالزيادة المذهلة التي توحي بها زيادة أعداد العلماء لأول وهلة (*).

(*) الأرقام من غرينَوي Greenaway.



30 – رموز دالتون للعناصر الكيميائية
دراسات همفري ديفي
عن الغازات، والبحث الكهربي الكيميائي

حياة همفري ديفي هي خير تعبير عن انتقال العلم من حالة الهواية إلى المهنة. كان همفري ديفي عمليا أصغر من دالتون، وإن كانت حياته أقصر. ولد ديفي في بنزانس في كورنوال في السابع عشر من ديسمبر العام 1778. وكانت كورنوال آنذاك إقليما شبه منفصل عن إنجلترا، ولم تكن لغتها الكورنية قد ماتت تماما؛ ولكن طموحات ديفي منذ سن باكرة اتسعت آفاقها وتجاوزت حدود إقليمه الخاص. ونعرف أن أبا ديفي، واسمه روبرت، كان يمتلك مزرعة صغيرة، فضلا عن عمله نحات خشب، بيد أنه لم يكن أبدا ميسورا ماليا. ونعرف كذلك أن أمه، واسمها غريس، اعتادت في فترة متأخرة من حياتها أن تدير محلا لبيع القبعات بالاشتراك مع امرأة فرنسية

جاءت إلى الإقليم هربا من الثورة. ولكن على الرغم من مساهمتها، فإن الأوضاع المالية للأسرة كانت شديدة العسر حتى أن همفري (الابن الأكبر بين خمسة أطفال) اضطر وهو في التاسعة من عمره إلى العيش مع أبي أمه بالتبني، ويدعى جون تونكين، ويعمل جراحا. وتوفي والد همفري العام 1794، ولم يترك لأسرته شيئا سوى الديون، وجدير بالذكر أن تونكين هو الذي أشار على ديفي الذي تعلم في مدرسة ترورو الابتدائية ولم يبد فيها قدرة ذهنية واضحة، أن يعمل تلميذا لدى صيدلاني محلي، وكان أقصى طموح لديه هو أن يذهب إلى أدنبره لدراسة الطب. وتعلم ديفي خلال هذه الفترة تقريبا اللغة الفرنسية على يدي قسيس فرنسي لاجئ. وسرعان ما تأكد له أنه اكتسب مهارة ثمينة للغاية.

بدا ديفي تلميذا مهنيا واعدا واستهل برنامجا للتعلم الذاتي يذكرنا ببنجامين تومسون وهو في عمره هذا. وتهيأ له أن يصبح صيدلانيا ناجحا، أو حتى طبيبا. ولكن شتاء عامي 1798/1797 يمثل نقطة تحول في حياة الفتى. إذ مع نهاية العام 1797، وقبيل الاحتفال بعيد ميلاده التاسع عشر، قرأ كتاب لافوازييه «رسالة عن عناصر الكيمياء» بلغته الأصلية الفرنسية وأصبح مفتونا بالكيمياء. وحدث قبل ذلك ببضعة أسابيع، وبينما الأم الأرملة تكابد لتلبي بالكاد متطلبات الحياة الأساسية، أن استقبلت في بيتها مستأجرا ليسكن خلال فترة الشتاء، وهو شاب يعاني مرض السل وأرسله ذووه إلى كورنوال ذات المناخ المعتدل نسبيا في الشتاء مراعاة لحالته الصحية. وتصادف أنه التقى غريغوري وات، ابن جيمس وات، والذي درس الكيمياء في جامعة غلاسجو. ونشأت صداقة بين غريغوري وات وهمفري ديفي استمرت بينهما إلى حين وفاة وات في العام 1805، وهو في السابعة والعشرين من العمر. ووجد ديفي في معية وات في بنزانس رفيقا يشاركه اهتمامه المتزايد بالكيمياء؛ واستطاع في العام 1798، ومن خلال تجاربه التي يجريها، أن يطور أفكاره عن الحرارة والضوء (التي كانت لا تزال في غالبيتها ضمن نطاق الكيمياء) وسجلها في مخطوطة مطولة. وبدت أكثر هذه الأفكار في صورة ساذجة ولا تصمد أمام الفحص والتدقيق الدقيق المألوف اليوم (هذا على الرغم من أنه من

المثير للاهتمام أن ديفي رفض فكرة السـيال الحراري)، بيد أنها تمثل، مع هذا، إنجازا بالغ الأهمية بالنسبة لفتى من الأقاليم في التاسعة عشرة من العمر وعلم نفسه بنفسه. ولنا أن نقول إن غريغوري وات وأباه جيمس هما اللذان قدما ديفي (من خلال المراسـلات) إلى الدكتور توماس بيدوس من بريستول لأول مرة، وأرسلا إليه دراسته عن الحرارة والضوء.

درس بيدوس (1760 - 1808) على يدي جوزيف بلاك في أدنبره، قبل أن ينتقل إلى لندن ثم إلى أكسفورد، حيث أكمل دراساته الطبية وعلم الكيمياء من العام 1789 حتى العام 1792. وأثار اهتمامه اكتشاف أنواع مختلفة من الغازات، ومن ثم قرر إنشـاء عيادة لفحص إمكانات هذه الغازات في مجال الطـب. وتولدت لديه فكرة (وإن بدت مثيرة فـي نظر المحدثين) مؤداها أن استنشـاق الهيدروجين يمكن أن يشفي من السل، وانتقل إلى بريستول، حيث مارس الطب هناك أثناء حصوله على تمويل، لما أصبح يعرف في العام 1798 باسم «المعهد الرئوي Pneumatic institute». وأعرب بيدوس عن حاجته إلى مساعد في عمله الكيميائي، وهي الوظيفة التي شغلها ديفي. وغادر بنزانس في الثاني من أكتوبر العام 1798، قبل شهرين من عيد ميلاده العشرين.

وأجرى ديفي في بريسـتول تجاربه على الغاز المعروف لنا الآن باسـم أكسـيد النيتروز، وهو سبب شهرته الواسـعة بحيث أصبح اسمه معروفا على نطاق واسع. وحيث إنه لم يجد أمامه من سبيل آخر لمعرفة كيف يؤثر في جسم الإنسان، فقد أعد أربع كوارتات (ما يساوي 4 لترات) من أكسيد النيتروز، واستنشـقها من داخـل كيس حريري، بعد أن أفـرغ رئتيه قدر الاسـتطاعة. واكتشـف على الفور الخصائص المبهجة للغاز الذي أضفى عليه اسم «غاز الضحك» حتى أنه أصبح موضع اهتمام لدى الباحثين عن المتعـة. وبعـد فترة وجيزة، وبينما كان ديفي يعانـي من أثر ضرس العقل، اكتشف مصادفة أن الغاز يخدر الإحساس بالألم، ووصل به الأمر إلى حد أنه كتب في العام 1799: «إن الغاز ربما يمكن اسـتعماله والاسـتفادة به أثناء عمليات الجراحة». ولكن للأسـف لم يلق الاقتراح اهتماما ومتابعة، إلى أن جـاء هوراس ويلز، طبيب الأسـنان الأمريكي، ليكـون الرائد في استخدام «غاز الضحك» في العام 1844 عند خلع الأسنان.

وواصل ديفي تجاربه على نفسه باستنشاق غازات مختلفة، كادت تودي به إلى التهلكة في إحداها. إذ أجرى تجارب على مادة معروفة باسم غاز الماء Water Gas (هو مزيج من أول أكسيد الكربون والهيدروجين)، أنتجه عن طريق تمرير بخار فوق فحم نباتي مشتعل. والمعروف أن أول أكسيد الكربون شديد السمية، وسرعان ما يؤدي دون أي إحساس بالألم إلى نوم عميق يفضي إلى الوفاة (وهذا هو السبب في أن كثيرين ممن يقدمون على الانتحار يختارون قتل أنفسهم عن طريق استنشاق عوادم الأدخنة المتصاعدة من محرك السيارة). واستطاع ديفي سريعا أن يبعد عن شفتيه طرف الكيس الذي يستنشق منه الغاز قبل أن ينهار ويسقط هو على الأرض، ولم يصبه من جراء ذلك سوى صداع حاد عند استيقاظه. ولكن أكسيد النيتروز هو الذي صنع له اسما.

أجرى ديفي على مدى عشرة أشهر تقريبا دراسة مكثفة عن الخصائص الكيميائية والفسيولوجية للغاز. وأثبت بعد ذلك اكتشافاته في كتاب له مؤلف من أكثر من 80 ألف كلمة أتمه في أقل من ثلاثة أشهر ونشره في العام 1800. وصدر الكتاب في أفضل توقيت ملائم في حياته. وفي العام 1800، وبينما دراسته عن أكسيد النيتروز توشك أن تبلغ غايتها، بدأ ديفي يكشف عن اهتمام بالكهرباء. وحدث ذلك نتيجة للأنباء عن اختراع (أو اكتشاف) فولت للعمود الغلفاني Galvanic Pile؛ واستهل عمله بالتجربة الكلاسيكية لتحلل الماء إلى هيدروجين وأكسجين بتأثير تيار كهربي، وسرعان ما أقنع ديفي نفسه بوجود علاقة مهمة بين الكيمياء والكهرباء. وجدير بالذكر أنه في الوقت الذي استهل فيه هذه الدراسة، كان كونت رمفورد (وقد كان بنجامين تومسون) يحاول تأسيس المعهد الملكي في لندن. وتأسس المعهد الملكي في مارس 1799، ولكن أول أستاذ للكيمياء تم تعيينه في المعهد الملكي هو توماس غارنيت، الذي لم يحقق نجاحا. نعم، كانت أول سلسلة من محاضراته جيدة جدا، ولكن سلسلة المحاضرات التالية شابها قصور في الإعداد وفتور في العرض. وثمة أسباب لذلك - إذ توفيت زوجة غارنيت قبل ذلك بقليل، وبدا أنه فقد حماسه لكل شيء وكأنه اختار لنفسه الموت العام 1802 وهو في السادسة والثلاثين من العمر. وأيا كانت

أسباب فشل غارنيت، فقد كان لا بد أن يتصرف رمفورد سريعا إذا ما شاء للمعهد الملكي أن يحقق الوعد الذي بدأ به سيرته. وهكذا دعا ديفي، النجم الساطع الصاعد في سماء الكيمياء في بريطانيا، دعاه لينضم محاضرا مساعدا في الكيمياء ومديرا للمعمل في المعهد الملكي براتب يبدأ بمائة جنيه سنويا، علاوة على الإقامة في المعهد الملكي، مع إمكانية أن يخلف غارنيت ويشغل منصبه الرفيع. قبل ديفي العرض، وشغل المنصب في السادس عشر من فبراير 1801، وحقق نجاحا باهرا كمحاضر سواء من حيث الأداء والإشارة لأحاديثه المعدة إعدادا جيدا وأسلوبها المتجدد، وكذلك من حيث نظراته المعبرة وشخصيته الجاذبة المؤثرة، حتى أنه أقبل عليه جمهور من الفتيات والسيدات المغرمات بكل مستحدث طريف للاستماع إلى محاضراته بغض النظر عن محتواها. وسرعان ما استقال غارنيت (تحت ضغط من رمفورد) وأصبح ديفي صاحب النفوذ الأقوى في المعهد الملكي، وتولى منصب أستاذ للكيمياء في مايو 1802 وذلك قبل أن يترك رمفورد لندن بوقت قصير ويستقر في باريس. كان ديفي لايزال في الثالثة والعشرين من العمر ولم يكن قد تلقى تعليما رسميا أكثر مما قدمته له مدرسة ترورو الابتدائية. وهكذا، ووفق هذا المعنى، نراه واحدا من الرعيل الأخير من العلماء العظام الهواة (وإن لم يكن بالدقة والتحديد من النبلاء)؛ ولكنه يعتبر أيضا من العلماء المهنيين الأوائل، نظرا إلى أنه عمل موظفا براتب سنوي في المعهد الملكي.

وإذا كنا نتذكر ديفي عادة باعتباره عالما «بحتا»، فإن أعظم إنجازاته في عصره استهدفت النهوض بالعلم، سواء من حيث الأسلوب العام في المعهد الملكي أو في مجال التطبيقات الصناعية والزراعية (بخاصة). مثال ذلك أنه قدم سلسلة محاضرات شهيرة بترتيب مع هيئة الزراعة بشأن العلاقة الوثيقة بين الكيمياء والزراعة. وتمثل هذه معيارا دالا على أهمية الموضوع، وكذا مهارات ديفي في العرض، مما أدى إلى دعوته فيما بعد (في العام 1810) ليعيد المحاضرات في دبلن (علاوة على سلسلة محاضرات عن الكيمياء الكهربية) مقابل 500 جنيه؛ وقدم بعد عام سلسلة أخرى من المحاضرات مقابل 750 جنيه - أكثر من سبعة أمثال أول راتب له في

في الطبعــة الثالثة من كتابه «منظومة الكيمياء» System of Chemistry، الصــادر العام 1807، وكــذا في كتاب دالتون «منظومة جديدة للفلســفة الكيميائية». وتضمن هذا الكتــاب قائمة لأوزان ذرية تم تقديرها، وصدر العــام 1808 (عُرض أول جدول للأوزان الذرية في ختام ورقة الشــبحث التي كتبها دالتون العام 1803).

وعلــى الرغم مما يبدو عليه نموذج دالتون مــن حداثة وقوة تأثير، فإنه لم يمثل عاصفــة يهتز لها العالم العلمي مع نهاية العقد الأول من القرن التاســع عشر. إذ وجد كثيرون أن من الصعوبة بمكان، وبناء على أسس فلسفية أحيانا، قبــول فكرة الذرات (مع ما تفيد به ضمنا بعدم وجود أي شــيء على الإطلاق فــي الفراغات بين الــذرات)، ونلحظ أن كثيرين ممن اســتخدموا الفكرة رأوا أنهــا لا تزيد على كونها أداة إجرائية نســتخدمها لبيان كيف تســلك العناصر وكأنهــا مكونة من جســيمات دقيقة من دون أن تكون كذلــك بالضرورة. وكان لا بــد أن ينقضي نصــف قرن كي تثبت في الواقع ذرة دالتون وتتأكد كقســمة مميــزة للكيمياء، وجدير بالذكر أنه لم يتأكد برهان حاســم على وجود الذرات إلا في الســنوات الأولى من القرن العشرين (أي بعد رؤية دالتون النافذة بمائة العام بالتمام والكمال)، ولم يقدم دالتون نفســه أي مســاهمة إضافية لتطوير هذه الأفــكار ولكن أغرقته مظاهر التكريم والاحتفاء بــه طوال حياته المديدة (نذكــر من بينهــا منحه الزمالة بالجمعية الملكية العــام 1822 ثم مجيئه خلفا لداني ليكون أحد ثمانية أجانب فقط حظوا بعضوية الأكاديمية الفرنســية في العام 1830). وعندما وافته المنية في مانشســتر في 27 يوليو 1844، شيعت جنازته في حفل مهيب ليس له مثيل، لا يتناســب مع أسلوب حياته باعتباره من الكويكرز. وضمت الجنازة موكبا مؤلفا من مائة عربة - ومنذ ذلك التاريخ بدأت النظرية الذرية تشق طريقها لتكون من بين أسس المعرفة العلمية المعتمدة.

يونس بيرزيليوس ودراسة العناصر

الخطوة الرئيســية التالية في مجال تطوير فكرة دالتون خطاها عالم الكيمياء الســويدي يونــس بيرزيليوس، المولود في فافيرســوندا، في 20 أغسطس 1779. عمل أبوه مدرســا، وتوفي بينما بيرزيليوس في الرابعة

من عمره، وتزوجت أمه بعد ذلك قسيسا يدعى أندرس إيكمارك. وتوفيت الأم أيضا العام 1788، وذهب بيرزيليوس للعيش مع أسرة أحد أخواله، وفي العام 1796 بدأ يدرس الطب في جامعة أوبسالا، واعتاد أن يقطع دراسته بين حين وآخر بغية العمل حتى يسدد مصروفات الدراسة. وتخرج طبيبا في العام 1802. وانتقل بيرزيليوس عقب تخرجه إلى ستوكهولم، حيث عمل أول الأمر مساعدا من دون أجر لعالم الكيمياء ويلهلم هيزينغر (1766 - 1852) ثم عمل بالنظام نفسه مساعدا لأستاذ الطب والصيدلة في كلية الطب في ستوكهولم، وأبلى في هذا العمل بلاء حسنا حتى أنه عقب وفاة الأستاذ العام 1807، شغل بيرزيليوس منصبه بديلا عنه. ولكنه سرعان ما انصرف عن الطب وركز اهتمامه في الكيمياء.

اتجه بداية لدراسة الكيمياء الكهربية مستلهما، مثله مثل ديفي، أعمال فولتا. ولكن نظرا إلى ما تمتع به بيرزيليوس من تدرب علمي وعملي، كان باحثا تجريبيا أكثر دقة من ديفي. وهكذا كان واحدا من أوائل من صاغوا الفكرة القائلة إن المركبات مؤلفة من أجزاء موجبة كهربيا وسالبة كهربيا، ويعتبر واحدا من أوائل المتحمسين لنظرية دالتون الذرية. وابتداء من العام 1810 فصاعدا أجرى بيرزيليوس سلسلة من التجارب لتقدير نسب اتحاد العناصر المختلفة بعضها ببعض (إذ درس 2000 مركب مختلف حتى العام 1812)، وهكذا قطع شوطا كبيرا على الطريق في اتجاه توفير دعم تجريبي تحتاج إليه نظرية دالتون، واستطاع بيرزيليوس بفضل تجاربه أن يقدم جدولا دقيقا إلى حد معقول للأوزان الذرية لأربعين عنصرا، هي مجموع العناصر المعروفة آنذاك، (وجرى تقديرها بالقياس إلى الأكسجين وليس الهديروجين). وجدير بالذكر أنه هو أيضا مخترع المنظومة الأبجدية الحديثة للترتيب التصنيفي للعناصر، على الرغم من مرور وقت طويل قبل استخدامها على نطاق واسع. واستطاع بيرزيليوس ورفاقه في استوكهولم، وفي اتساق مع هذا العمل، أن يعزلوا ويحددوا عديدا من العناصر «الجديدة»، نذكر من بينها السيلينيوم والثوريوم والليثيوم والفاناديوم.

وبدأ علماء الكيمياء نحو هذا الوقت في التوصل إلى فكرة أن العناصر يمكن تجميعها وتصنيفها في «أسر» على أساس الخواص الكيميائية

المتماثلة، وأطلق بيرزيليوس اسم «هالوجينات» (ويعني مولدات الملح) على مجموعة تضم الكلور والبروم واليود؛ ولقد كان بارعا في ابتكار الأسماء، فك أيضا مصطلحات «الكيمياء العضوية» Organic Chemistry و«التحفيز» Catalysis، و«البروتين». وصدرت في العام 1803 الطبعة الأولى من كتابه «المرجع في الكيمياء» Textbook of Chemistry، والذي صدرت منه طبعات كثيرة بعد ذلك، وحقق نفوذا واسع النطاق. ومنحه ملك السويد لقب بارون يوم زفافه في العام 1835، تعبيرا عن عظمة شأنه في مجال الكيمياء، وعما يحظى به من تقدير وإجلال داخل السويد.

ثابت أفوغادرو

لم يتسن لبيرزيليوس ولا لدالتون (ولا لأي عالم آخر مختص في هذا الشأن) أن يلتقط مباشرة الفكرتين اللتين ساهمتا معا في تقدم فكرة الذرات، واللتين تمت صياغتهما مع حلول العام 1811. نعرف أولا أن عالم الكيمياء الفرنسي جوزيف لويس غاي - لوساك (1778 - 1850) أدرك في العام 1808، ونشر في العام 1809، أن الغازات تتحد بنسب بسيطة على أساس الحجم، وأن حجم نواتج التفاعل (إذا كانت هي الأخرى غازية) يرتبط على نحو بسيط بأحجام الغازات المتفاعلة. مثال ذلك يتحد حجمان من الهيدروجين مع حجم واحد من الأكسجين لينتج حجمان من بخار الماء. واقترن هذا الاكتشاف بتجارب أوضحت أن جميع الغازات تخضع لقانوني التمدد والانضغاط Laws of expansion and compression من دون تغيير، وأفادت هذه التجارب، مع الاكتشاف السابق، العالم الإيطالي أماديو أفوغادرو (1776 - 1856) ليعلن فرضه المعروف باسمه في العام 1811، والذي يقضي بأنه في درجة حرارة معينة يحتوي حجم أي غاز يبقى كما هو على عدد الجسيمات نفسها. واستخدم عمليا كلمة «جزيئات»، ولكن حيث كان يستخدم دالتون كلمة «الذرة» لتعني في آن واحد ما نعنيه نحن بالذرات وما نعنيه بالجزيئات. واستخدم أفوغادرو كلمة «الجزيء» لتعني معا ما نعنيه نحن بالجزيئات وما نعنيه بالذرات. وتوخيا للتبسيط سوف التزم بالاستخدام الاصطلاحي الحديث. يفسر فرض أفوغادرو اكتشاف جاي

- لوساك من حيث لو كان، كمثال، كل جزيء أكسجين يحتوي على ذرتين من العنصر، والذي يمكن انقسامه ليكون قسمة بين جزيئي الهيدروجين. ويمثل هذا الفهم بأن الأكسجين (والعناصر الأخرى) يمكن لها أن توجد في صورة جزيئية متعددة الذرات Polyatomic molecular form (وهو في هذه الحالة O2 وليس O) خطوة حاسمة إلى الأمام. معنى هذا أن حجمين من الهيدروجين يحتويان جزيئات تعادل ضعف ما في حجم واحد من الأكسجين، وأنه عندما يتحدان فإن كل جزيء أكسجين يؤلف ذرة لكل زوج من جزيئات الهيدروجين، ويكون العدد نفسه من الجزيئات مثلما كان الحال في الحجم الأصلي للهيدروجين.

ونعبر عن هذا بالرموز الحديثة $2H_2O \longrightarrow 2H_2+O_2$.

فرض وليام بروت عن الأوزان الذرية

لم تلق أفكار أفوغادرو صدى وقتذاك، ويمكن القول إن الفرض الذري جمد تقريبا ولم يحقق تقدما يذكر على مدى عقود، وعاق تقدمه الافتقار إلى التجارب التي يمكنها أن تختبر الفرض. ويا لها من مفارقة أن التجارب كانت كافية تماما لإلقاء بعض الشك على فكرة جيدة انبثقت نحو هذه الفترة تقريبا. إذ في العام 1815، ذهب عالم الكيمياء البريطاني وليام براوت (1785 - 1850)، تأسيسا على جهود دالتون، إلى أن الأوزان الذرية لجميع العناصر هي بالدقة والتحديد مضاعفات الوزن الذري للهيدروجين، ويفيد هذا ضمنا بشكل ما أن العناصر الأثقل وزنا يمكن أن تكون تراكما مؤسسا على الهيدروجين. بيد أن تقنيات التجريب خلال النصف الأول من القرن التاسع عشر تكفي تماما لبيان أن هذه العلاقة ليست مطردة على نحو دقيق ومضبوط، وأن أوزانا ذرية كثيرة تحددت بفضل التقنيات الكيميائية لا يمكن اعتبارها مضاعفات صحيحة في وحدة كاملة للوزن الذري للهيدروجين. ولكن خلال القرن العشرين فقط، ومع اكتشاف النظائر (ذرات عنصر بذاته تختلف أوزانها الذرية عن بعضها اختلافا طفيفا، وإن كان الوزن الذري لكل نظير هو بالدقة ضعف وزن ذرة واحدة من الهيدروجين)، أمكن حل اللغز.

(إذ عرفنا أن الأوزان الذرية التي تحددت كيميائيا هي متوسط الأوزان الذرية لكل النظائر لعنصر ما موجود)، وهنا وضح أن فرض براوت بمنزلة رؤية نافذة إلى أغوار طبيعة الذرات.

وبينما عجزت الكيمياء، على الرغم مما توافر لها من دقة وبراعة، عن أن تقدم الكثير للبحث على المستوى الذري طوال نصف قرن، ثمة تقدم مهم تحقق في سبيل فهم ما يحدث عند مستوى أعلى من التنظيم الكيميائي. إذ كان العلماء التجريبيون يدركون منذ زمن طويل أن كل شيء في العالم المادي موزع بين ضربين من المواد الكيميائية. البعض، مثل الماء والملح المعروف، يمكن تسخينه ويبدو لنا في ظاهره وقد تحولت خاصيته (التوهج والاحمرار أو الانصهار، أو التبخر أو أي شيء آخر)، ولكن عند التبريد يعود ثانية إلى حالته الكيميائية الأولى. والبعض الآخر، مثل السكر أو الخشب، يتغير تماما بفعل الحرارة، ويكون من الصعوبة بمكان استعادة قطعة خشب احترقت، أي إلغاء تأثير الاحتراق. واستطاع بيرزيليوس في العام 1807 أن يصوغ علميا التمييز بين نوعي المادة. إذ حيث إن المجموعة الأولى من المواد مقترنة بمنظومات غير حية، بينما المجموعة الثانية وثيقة الصلة بالمنظومات الحية، فقد أطلق عليهما اسم «لا عضوي» و«عضوي». ومع تطور الكيمياء أصبح واضحا أن المواد العضوية، مؤلفة في مجملها من مركبات أكثر تعقدا من المواد غير العضوية. ولكن ساد اعتقاد أيضا بأن طبيعة المواد العضوية مرتبطة بوجود «قوة حيوية»، أو الحياة، وهي التي تجعل الكيمياء تعمل على نحو مغاير في الكائنات الحية عنها في الكائنات غير الحية.

فردريك فوهلر:

دراسات عن المواد العضوية وغير العضوية:

الإفادة هي أن المواد العضوية نتاج المنظومات الحية فقط، لذلك بدا الأمر مفاجأة مذهلة في العام 1828 عندما اكتشف مصادفة عالم الكيمياء الألماني فردريك فوهلر (1808 - 1882) أثناء إجرائه سلسلة تجارب، لهدف مختلف تماما، أن اليوريا (أحد مكونات البول) يمكن إنتاجه عن طريق تسخين مادة

سـيانات الأمونيوم البسيطة. وكان المعروف آنذاك أن سيانات الأمونيوم مادة غير عضوية، ولكن تغير تعريف «العضوي» في ضوء هذا الحدث، علاوة على تجـارب مماثلة صنعت مواد عضوية من مواد لـم تكن قط مرتبطة بالحياة. وبدا واضحا مع نهاية القرن التاسع عشر أن لا وجود لقوة حياة غامضة تعمل داخل الكيمياء العضوية، وأن ثمة شيئان فقط يمايزان المركبات العضوية عن المركبـات غير العضوية. أولهما أن المركبـات العضوية غالبا ما تكون معقدة، بمعنـى أن كل جزيء فيها يحتوي على ذرات كثيرة من عناصر مختلفة عادة. وثانيهمـا أن جميع المركبات العضوية تحتوي على الكربون (وهو في الحقيقة سـبب تعقدها، لأن ذرات الكربون، كما سوف نرى فيما بعد، تستطيع الاتحاد بوسائل عديدة ومهمة مع الكثير من الذرات الأخرى ومع ذرات كربون أخرى). معنى هذا أن مادة سـيانات الأمونيوم التي تحتـوي على الكربون ننظر إليها الآن باعتبارهـا مادة عضوية - بيد أن هذا لا يقلل بأي شـكل من الأشـكال من أهمية اكتشاف فوهلر. وأصبح ممكنا الآن صناعة جدائل كاملة من الدنا DNA في المعمل من مواد غير عضوية بسيطة.

وجدير بالذكر أن التعريف المألوف الآن للجزيء العضوي هو أي جزيء يحتوي على كربـون، وأن الكيمياء العضوية هي كيمياء الكربون ومركباته. وننظر الآن إلى الحياة باعتبارها نتاج كيمياء الكربون، وأنها تخضع للقوانين الكيميائية نفسها العاملة في كل أنحاء عالم الذرات والجزيئات. وأدى هذا الفكر، علاوة على أفكار داروين ووالاس، إلى حدوث تحول أساسـي خلال القرن التاسع عشر في النظر إلى مكان البشرية في الكون - إذ يوضح لنا الانتخاب الطبيعي أننـا جزء من المملكة الحيوانية، وأن لا دليل على تفرد البشر بروح خاصة؛ وتوضح لنا الكيمياء أن الحيوانات والنباتات هي جزء من العالم الفيزيائي، دون أي دليل على «قوة حياة» خاصة.

التكافؤ Valency

ولكن مـع الوقت الذي بدأت فيه كل هـذه الأمور تتضح تفهمت الكيمياء أخيرا كل ما يتعلق بالذرات. وانبثقت بين كل الشواش الفكري الذي سـاد عقودا مفاهيم أساسية تعد مفتاحا، إذ قدم عالم الكيمياء

الإنجليزي إدوارد فرانكلاند (1825 - 1899) أول تحليل واضح على نحو معقول لما بات يعرف باســم التكافــؤ Valency، وهو معيار قدرة عنصــر ما على الاتحاد مــع آخر - أو، كما أصبح واضحا مباشــرة، قــدرة ذرات عنصــر ما على الاتحــاد بذرات أخــرى. وجدير بالذكر أن مصطلحــات كثيرة اســتخدمت خلال الأيام الأولــى لوصف هذه الخاصيــة، من بينها مصطلح مســاو Equivalent والذي أفضى عبر كلمة «التســاوي» Equivalency إلى التعبير السائد اليوم. وإذا عبرنا عــن ذلك بلغة الاتحادات الكيميائية نقول بمعنى من المعاني إن كميتين من الهيدروجين تكونان متســاويتين بكمية واحدة من الأكسجين، وأن كمية واحدة من النيتروجين تكون مســاوية لثلاثة هيدروجين وهكذا.

وفي العام 1858، كتب آرتشيبالد كوبر الإسكتلندي (1831 - 1892) بحثا قــدم فيه للكيمياء فكرة الروابط bonds، وبســط بذلك التعبير عن التكافــؤ وطريقة اتحاد الذرات. ويقال الآن تكافؤ الهيدروجين 1، بمعنــى أن بإمكانه تكوين رابطــة Bond واحدة مع ذرة أخرى. وتكافؤ الأكســجين 2 بمعنى أن بإمكانه تكوين رابطتــين. وهكذا، وعلى نحو منطقــي تماما، تكون كل رابطة من الرابطتين، «تخص» ذرة أكســجين ويمكنها الارتباط بــذرة هيدروجين واحدة ليكونا الماء H2O، ولك إذا شــئت أن تقول H-O-H حيث تمثل القاطعتــان رابطتين. ويقال بالمثل إن تكافــؤ النيتروجين 3، بمعنى أن يكــون ثلاث روابط ومن ثم يمكنه الاتحاد مع ثلاث ذرات هيدروجين في وقت واحد لينتج أمونيا amonia NH3.. ولكن الروابط، يمكنها أيضا أن تكون ذرتين من عنصر واحد، كما هي الحال في الأكسجين O_2، والذي يمكن أن نعبر عنه بقولنا O = O. كذلك الكربون له تكافؤ 4، ويمكنه أن يكون أربع روابط منفصلة، مع أربع ذرات منفصلة مشــتملة على ذرات كربــون أخرى في الوقت نفســه(*). وتمثل هذه الخاصية لب كيمياء الكربــون، ولم يمهل كوبر نفســه بل أسرع وأشار إلى أن الاتحادات الكربونية المركبة والتي تمثل قاعدة الكيمياء العضوية يمكن أن تتألف من سلسلة من ذرات الكربون

(*) أو يمكنها تكوين «روابط مزدوجة» (بل وروابط ثلاثية) مع عدد أصغر من الشركاء، كما هي الحال في ثاني أكسيد الكربون CO2 الذي يمكن أن نعبر عنه بقولنا O = C = O.

متشاركة بهذه الطريقة مع ذرات أخرى ملحقة بالروابط الاحتياطية على جانبي السلسلة. تأخر نشر بحث كوبر، ولكن الفكرة ذاتها سبق أن نشرها قبله وعلى نحو مستقل عالم الكيمياء الفرنسي فريدريش أوغست كيكولي (1829 - 1896). وطبيعي أن نشرها حجب جهود كوبر وقتذاك. وبعد سبع سنوات توصل كيكولي إلى فكرة ملهمة تفيد بأن ذرات الكربون يمكنها أن ترتبط بعضها ببعض على هيئة حلقات (والشائع أكثر في حلقة من ست ذرات كربون لتكون شكلا سداسيا) مع روابط ناتئة من الحلقة لترتبط بذرات أخرى (أو حتى بحلقات أخرى للذرات).

ستانيسلاو كانيزارو:
التمييز بين الذرات والجزيئات

مع شيوع أفكار مثل أفكار كوبر وكيكولي في نهاية خمسينيات القرن التاسع عشر، حان الوقت لكي يعيد شخص ما اكتشاف أعمال أفوغادرو ويضعها في سياقها الصحيح. ولقد كان ستانيسلاو كانيزارو هو هذا الشخص المعني، وعلى الرغم من أن كل ما فعله يمكن وصفه إنصافا بأنه عمل بسيط، إلا أنه عاش حياة مثيرة للاهتمام بحيث يستحيل علينا مقاومة إغراء أن نحيد عن صلب الموضوع قليلا لكي ننتقي بعض معالمها المميزة. كان كانيزارو ابن موظف كبير، وهو من مواليد باليرمو في صقلية في 19 يوليو 1826 تلقى تعليمه في باليرمو ونابولي وتورين قبل أن يعمل مساعد معمل في بيزا من 1845 وحتى 1847. وعاد بعد ذلك إلى صقلية ليشارك في الكفاح ضمن التمرد الفاشل ضد نظام البوربون الحاكم للملك نابولي، وكان هذا التمرد جزءا من موجة الانتفاضات التي جعلت المؤرخين يصفون العام 1848 بعبارة «سنة الثورات» في أوروبا (المعروف أن أبا كانيزارو كان يشغل وقتذاك منصب قائد الشرطة، الأمر الذي جعل الحياة بالضرورة أكثر إثارة للاهتمام). ومع فشل الانتفاضة صدر حكم غيابي بإعدام كانيزارو الذي ذهب إلى المنفى في باريس، حيث عمل مع ميشيل

شيفرول (1786 - 1889)، أستاذ الكيمياء في متحف التاريخ الطبيعي، وأصبح بإمكان كانيزارو العودة إلى إيطاليا في العام 1851، حيث قام بتدريس الكيمياء في كليجيو ناسيونال في اليساندريا في بيدمونت(*)، وذلك قبل التوجه إلى جنوا في العام 1855 للعمل أستاذا للكيمياء. وأثناء مقامه في جنوا، اطلع على فرض أفوغادرو ووضعه ضمن سياق الحركة التطورية في مسار الكيمياء منذ العام 1811. وفي العام 1885، وبعد سنتين فقط من وفاة أفوغادرو أصدر كانيزارو كراسة (أو ما نسميه اليوم طبعة تجريبية) أوضح فيها التمييز الجوهري بين الذرات والجزيئات (وموضحا مظاهر الخلط الموجودة منذ الدراسة الأولية لكل من دالتون وأفوغادرو)، وشرح كيف يمكن استخدام السلوك الملحوظ للغازات (قواعد اتحاد الأحجام وقياسات كثافة البخار... إلخ). وكذا فرض أفوغادرو لحساب الأوزان الذرية والجزيئية في علاقتها بوزن ذرة الهيدروجين. وتم توزيع الكراسة على نطاق واسع داخل مؤتمر دولي منعقد في كارلسروه في ألمانيا العام 1860، وحققت تأثيرا محوريا في تطور الأفكار التي أدت إلى فهم الجدول الدوري للعناصر.

ولكن كانيزارو نفسه انشغل عن متابعة هذه الأفكار. ونراه بعد ذلك في العام 1860 يلتحق بقوات غيوسيب غاريبالدي لغزو صقلية الذي لم يطرد فقط نظام الحكم في نابولي من الجزيرة، بل وأدى سريعا إلى اتحاد إيطاليا تحت سلطة فيكتور إيمانويل الثاني، حاكم سردينيا. وفي العام 1861، بعد أن انقشع غبار القتال، شغل كانيزارو منصب أستاذ الكيمياء في باليرمو، حيث بقي هناك حتى العام 1871، قبل أن ينتقل إلى روما حيث عمل أستاذا للكيمياء بالجامعة علاوة على تأسيس المعهد الإيطالي للكيمياء، وأصبح، إضافة إلى ذلك، عضوا في البرلمان ثم بعد ذلك نائبا لرئيس البرلمان. وتوفي في روما في العاشر من مايو العام 1910، بعد أن امتد به العمر ليشهد تأسيس الوضع الحقيقي للذرات على النحو الذي لا يدانيه أي شك.

(*) كانت إيطاليا لاتزال وقتذاك مزيجا من الدويلات، ولذلك نجد أن وضع كانيزارو كثوري فاشل في صقلية لم يحل تلقائيا من أن يجد ملاذا لنفسه في إيطاليا الأم.

استحداث الجدول الدوري، مندلييف وآخرون

قصة اكتشاف (أو ابتكار) الجدول الدوري مزيج مثير للفضول، موضحا ومؤكدا أنه عندما تتضح الظروف ويحين الوقت نجد أن اكتشافا علميا واحدا يأتي على الأرجح على أيادي عديدين من العلماء مستقلين بعضهم عن بعض، ولكنها تبرهن أيضا على الإحجام العام من جانب الحرس القديم عن قبول الأفكار الجديدة. إذ في أعقاب جهود كانيزارو مباشرة، وفي مطلع ستينيات القرن التاسع عشر، ظهر على المسرح كل من جون نيولاندز (1837 - 1898)، عالم الكيمياء الصناعية الإنجليزي، وألكسندر بيغوبيير دو شانكورنوا (1820 - 1886) عالم المعادن الفرنسي، وتحقق كل منهما وبشكل مستقل من أنه إذا ما تم ترتيب العناصر وفق وزنها الذري نجد أن ثمة نمطا متكررا يكشف عن فواصل منتظمة بين العناصر، حيث الأوزان الذرية موزعة على أساس الكميات التي هي ثمانية أضعاف الوزن الذري للهيدروجين، كما نجد خواص متماثلة بين العنصر والآخر(*). وصدر في العام 1862 كتاب بيغوبيير وكان مصيره الإغفال (ولعل أحد أسباب ذلك خطأه هو، إذ أخفق في شرح فكرته بوضوح ولم يقدم حتى رسما بيانيا توضيحيا يعبر بوضوح، عن فكرته)، ولكن عندما نشر نيولاندز الذي لم يكن يعرف شيئا عن جهود بيغوبيير، سلسلة من الإنجازات تمس الموضوع في عامي 1864 و1865، لقي هو الآخر مصيرا أسوأ من ذلك إذ سخر أقرانه بقسوة منه، الذين قالوا إن فكرة ترتيب العناصر الكيميائية وفق وزنها الذري لا معنى لها وأنها أشبه بعملية ترتيبها وفق بدايات الأحرف الأبجدية لأسمائها. ولكن البحث الرئيسي في هذه السلسلة الذي وضح فيه فكرته بالكامل رفضته الجمعية الكيميائية، ولم يصدر إلا في العام 1884، بعد فترة طويلة من الثناء الذي حظي به ديمتري مندلييف باعتباره مكتشف الجدول الدوري. وفي العام 1887 منحت الجمعية الملكية نيولاندز ميداليتها المسماة ميدالية ديفي على الرغم من أنها لم تتجنب انتخابه زميلا بها.

(*) من الملائم بشكل خاص أن نعتقد أن نيولاندز كان من بين من اعتمدوا على إنجازات كانيزارو. ذلك أن أم نيولاندز من أصل إيطالي، كما أن نيولاندز، شأنه شأن كانيزارو، حارب مع غاريبالدي في صقلية العام 1860.

ولكـــن منديلييف لم يكن هو حتى الشـــخص الثالث الـــذي توصل إلى فكرة الجدول الدوري. إذ إن هذا الشـــرف، من حيث جوهره، يخص عالم الكيميـــاء والفيزياء الألمانـــي لوثار ماييـــر (1830 - 1895)، على الرغم من أنه اعترف فيما بعد بأنه افتقر إلى حد ما إلى شـــجاعة الإعلان عن اقتناعاته، وأنه لهذا السبب ذهبت الجائزة إلى منديلييف. ونعرف أن مايير حقق لنفسـه اسـما في علم الكيمياء من خلال كتابـه، المرجعي «نظرية الكيمياء الحديثة الصادر في العام 1864. وكان واحدا من المتحمسين في الاقتداء بأفكار كانيزارو التي عرضها وشـــرحها في كتابه، وجدير بالذكر أنه أثناء إعداده لكتابـه هذا لحظ العلاقة بين خواص العنصر الكيميائي ووزنـه الذري، غير أنه أحجم عن الإعلان عن هذا الحدث الجديد وظهر في كتابـه كفكرة لم يتسـن اختبارها والتحقق منها بعـد، ومن ثم اكتفى بالإلمـاح إليها. وعمد مايير على مدى السـنوات القليلة التالية إلى تطوير صيغة أكثـر اكتمالا للجدول الدوري بهدف تضمينهـا في طبعة تالية من كتابـه الذي اكتمل العـام 1868، ولكن لم يدفع به إلـى المطبعة إلا العام 1870. وخلال هذه الفترة الفاصلة كان منديلييف قد طرح تصوره للجدول الدوري (وهو لا يعرف أي شـيء عن أعمال أخرى مناظرة خلال ستينيات القرن التاسـع عشر)، واعترف مايير بأسـبقية منديلييف، ليس فقط لأن منديلييف واتته الشجاعة (أو النزق) ليخطو خطوة أحجم عنها مايير. وقد تنبأ بالحاجة إلى «بضع» عناصر لسـد الفجوة الماثلة في الجدول الدوري. ولكن جهود مايير، أضحت معروفة ومعترفا بها على نطاق واسـع، واقتسم مايير ومنديلييف معا ميدالية ديفي العام 1882.

ومـن المدهش قليلا أن منديلييف لم يكن على صلة بجميع التطورات التي شـهدتها الكيمياء في غرب أوروبا خلال سـتينيات القرن التاسـع عشر(*). ونعرف أن منديلييف من مواليد توبولسـك في سيبيريا في السابع من فبراير العـام 1834 (27 يناير وفق التقويم القديم الذي كان لايزال مسـتخدما في روسـيا حتى ذلك الحين)، وهو الابن الأصغر بين أربعة عشـر طفلا. ويدعى

(*) ربما عرف منديلييف جهود بيغوبير ولكنه لم يعرف شـيئا عن جهود نيولاندز، بيد أن هذا لا ينقص من إنجازاته التي تجاوزت الرواية المشوشة عن استعادة الأنماط الواردة في بحث بيغوبير الصادر في العام 1862.

أبوهم إيفان بآفلوفيتش، والذي عمل ناظرا لإحدى المدارس المحلية، ثم كف بصره بينما كان ديمتري لايزال طفلا، ومن ثم تولت الأم ماريا ديمترييفنا تحمل القسط الأكبر من مسؤولية إعالة الأسرة، واتصفت الأم بالدأب وبدأت في عمل مصنوعات زجاجية لتوفير دخل للأسرة. توفي أبو مندلييف العام 1847، وبعد ذلك بعام واحد دمر حريق كل المصنوعات الزجاجية. وقررت الأم ماريا ديمترييفنا أن يحظى الابن الأصغر بأفضل فرص ممكنة للتعلم، على الرغم من الصعوبات المالية، وبعد أن أصبح الكبار من الأبناء مستقلين إلى حد ما، اصطحبته إلى سانت بطرسبرج. ولكن مندلييف عجز عن الحصول على مكان لنفسه في الجامعة بسبب التحيز ضد الطلاب الفقراء من أبناء الأقاليم، ولكنه سجل اسمه بصفة معلم متدرب في العام 1856 في معهد التربية، حيث تأهل والده. وتوفيت الأم بعد عشرة أسابيع فقط، ولكن يبدو أن ديمتري كان مثل أمه إصرارا وعزيمة. واستكمل استحقاقاته الوثائقية بعد أن أتم تدريبه وعمل مدرسا لمدة العام في أوديسا، وسمحت له الجامعة بعد ذلك بالحصول على درجة الماجستير في الكيمياء في جامعة سانت بطرسبرغ حيث تخرج العام 1856. وبعد عامين عمل خلالهما مندلييف في وظيفة متواضعة في الجامعة التحق ببرنامج دراسي خاضع لرعاية الحكومة في باريس وفي هيدلبرغ، حيث عمل تحت إشراف روبرت بونسين وغوستاف كيرشوف. وحضر اجتماعا انعقد في كارلسروه العام 1860، وهو الاجتماع الذي وزع فيه كانيزارو كراسته عن الأوزان الذرية والجزيئية، فضلا عن أنه التقى كانيزارو. وشغل مندلييف بعد عودته إلى سانت بطرسبرغ منصب أستاذا للكيمياء العامة في المعهد التقني في المدينة، وحصل على درجة الدكتوراه العام 1865؛ وفي العام 1866 أصبح أستاذا للكيمياء بجامعة بطرسبرغ، وبقي في منصبه هذا إلى أن أجبرته السلطات على التقاعد العام 1891، على الرغم من أنه لم يتجاوز السابعة والخمسين من العمر، وذلك بسبب انحيازه إلى صف الطلاب المحتجين على ظروف وأوضاع النظام الأكاديمي الروسي. وبعد ثلاث سنوات، رأت السلطات أنه تطهر من ذنبه، ومن ثم شغل منصب المنسق لمكتب الأوزان والمقاييس، وهو المنصب الذي ظل فيه إلى أن وافته المنية في 2 فبراير العام 1907 (20 يناير بالتقويم القديم).

وفاته أن يكون من أوائل الحاصلين على جائزة نوبل - إذ كان من المرشحين لها العام 1906، ولكنه خسرها بصوت واحد لمصلحة هنري مواسان (1852 - 1907)، وهو أول عالم عزل الفلورين. ووافته المنية قبل اجتماع لجنة جائزة نوبل للمرة الثانية (وهو ما حدث أيضا لهنري مواسان).

وصنع مندلييف لنفسه اسما، مثلما صنع ماير، بتأليف كتاب مرجعي بعنوان «المبادئ الأساسية للكيمياء»، والصادر في مجلدين في عامي 1868 و1870. كذلك توصل، مثل ماير، إلى فهم للعلاقة بين الخواص الكيميائية للعناصر وأوزانها الذرية وذلك أثناء تأليفه لكتابه. ونشر في العام 1869 بحثه الكلاسيكي بعنوان «عن علاقة خواص العناصر بأوزانها الذرية»(*). وتتميز جهود مندلييف بميزة عظيمة ينفرد بها بين جمهور العلماء الآخرين ممن شاركوه أفكاره في الفترة نفسها تقريبا، وهذه هي جرأته على إعادة ترتيب العناصر (مع تغيير طفيف) بغية جعلها تتطابق مع النمط الذي اكتشفه، بحيث يترك فجوات في الجدول الدوري لتشغلها فيما بعد العناصر التي لم تكتشف حتى ذلك الوقت. وجدير بالذكر أن عمليات إعادة الترتيب الواردة كانت ضئيلة جدا، إذ وضع مندلييف العناصر في ترتيب دقيق وفق أوزانها الذرية، وتوصل بذلك إلى ترتيب أشبه بشبكة وليس لوحة شطرنج، حيث العناصر ذات الخواص الكيميائية المتماثلة توضع تحت بعضها مباشرة في أعمدة داخل الجدول. وهكذا توزعت في ترتيب محكم دقيق وفق الأوزان الذرية (الأخف وزنا في قمة يسار «لوحة الشطرنج» والأثقل وزنا في القاعدة اليمنى). وظهرت هنا بعض التضاربات من حيث الشكل. مثال ذلك أن عنصر التلوريوم Tellurium جاء تحت عنصر البرومين Brominoe، وهو عنصر له خواصه الكيميائية المختلفة تماما. ولكن الوزن الذري لعنصر التلوريوم لا يزيد إلا بقدر ضئيل جدا عن عنصر الوزن الذري لعنصر اليودين (تفيد القياسات الحديثة أن الوزن الذري لعنصر التلوريوم هو 127.60، بينما الوزن الذري لعنصر اليودين هو 126.90، أي أن الفارق هو فقط 0.55 في المائة).

(*) وذلك تحديدا بعد عشر سنوات من صدور كتاب تشارلز داروين «أصل الأنواع»؛ وشهد القرن التاسع عشر كما كبيرا من الأعمال العلمية في تواز مع بعضها حتى بدا من العسير تتبع من يفعل ماذا ومتى!

وتم عكـــس ترتيب هذين العنصرين في الجدول بحيث وضعنا اليودين، ذي الخواص الكيميائية المماثلة للبرومين، تحت البرومين، حيث المكان الخاص به بوضوح حسب الاصطلاح الكيميائي.

ووجـــدت هذه القفزة العقائدية الكبيـــرة التي أقدم عليها مندلييف كل أسباب الدعم والتبرير بعد أن أصبح واضحا تماما في القرن العشرين مع اطراد البحث في بنية النواة، وهو البحث الذي يختص بقلب الذرة. إذ تبين أن الخواص الكيميائية لعنصر ما هي رهن عدد البروتونات الموجودة داخل نواة كل ذرة (العدد الذري)، بينما وزنه الذري رهن إجمالي عدد البروتونات زائـــد النيوترونات داخل النواة. ونلحـــظ الآن أن التصور الحديث للجدول الدوري يرتب العناصر وفقا لاطراد زيادة العدد الذري، وليس اطراد زيادة الـــوزن الذري. ولكن الملاحظ في الغالب الأعـــم من الحالات أن العناصر ذات العـــدد الـــذري الأكبر هي أيضـــا ذات وزن ذري أكبر. ولكن ثمة بضع حالات نادرة نجد فيها زوجا زائدا على المعتاد من النيوترونات، وهو ما من شأنه أن يجعل ترتيب العناصر على أساس الوزن الذري مختلفا قليلا جدا عن ترتيبها وفق العدد الذري.

pe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
—	—	RH^4	RH^3	RH^2	RH	—
RO	R^2O^3	RO^2	R^2O^5	RO^3	R^2O^7	RO^4
9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108
d=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
—	—	—	—	—	—	
	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197,

31 – جدول العناصر وفق التصور الأولى لمندلييف العام 1871

لـــو أن هـــذا هو كل ما أنجـــزه مندلييف من دون معرفـــة بالبروتونات والنيوترونات التي ظهرت إلى الوجود بعد ذلك التاريخ بعقود لكان تصوره الخاص عن الجدول الدوري قمين بالصفح والقبول شـــأنه شـــأن سابقيه.

على نحو مباشـــر في هـــذه الصناعة، فإنه كان جزءا مـــن حالة الازدهار، وذلك تحديدا بفضل وجود مؤسســـات تعليمية مثل نيـــو كوليج التي تلبي حاجة أعداد متزايدة من الســـكان من أجل تطويـــر المهارات التقانية التي يســـتلزمها أســـلوب الحياة الجديدة. واســـتمر دالتون في التدريس هناك حتى العـــام 1799؛ وأصبح معروفا هناك حتى ذلك الحين بأســـلوبه في توفير معيشـــة متواضعـــة كمعلم خاص، وبقي في مانشســـتر بقية حياته. ونذكر أن من بين الأســـباب التي أدت إلـــى ذيوع صيت دالتون فور وصوله إلى مانشســـتر أنه كان مصابا بعمى الألـــوان. لم تكن هذه الحالة معروفة في الســـابق، ولكن دالتون أدرك أنه لا يســـتطيع أن يميز الألوان بالطريقة نفســـها التي نعهدها عند الغالبية العظمى من الناس، واكتشـــف أن أخاه يعاني من الأمر نفســـه. إذ لـــم يكن أي منهما ليســـتطيع أن يرى تحديدا الأزرق والقرنفلي. وفـــي 31 أكتوبر 1794 قرأ دالتون بحثا أمام الجمعية الأدبية والفلســـفية في مانشستر قدم فيه تحليلا مسهبا عن هذه الحالة، والتي أصبحت معروفة بعد ذلك باسم الحالة الدالتونية (وهو اسم لايزال مستخدما في بعض أنحاء العالم).

وواصـــل دالتـــون اهتمامه الشـــديد بالظواهر الجويـــة على مدى السنوات العشر التالية، وقاده هذا إلى التفكير بعمق لفهم طبيعة مزيج الغازات تأسيســـا علـــى وتطويرا لأفكاره عن بخار المـــاء التي ذكرناها لفورنا. إنه لم يســـتحدث على الإطلاق الفكـــرة القائلة إن الغاز مؤلف مـــن كم هائل من الجســـيمات في حركة دائبـــة ومتصادمة بعضها مع بعض ومع جدران حاوياتها، ولكنه بدلا من ذلك فكر بطريقة ســـكونية «إستاتيكية» وكأن الغاز مؤلف من جسيمات منفصلة بعضها عن بعض بنوابـــض أي زنبركات. بيد أنـــه وعلى الرغم من هـــذه العقبة، مضى في ســـبيله إلى أن فكر في العلاقة بين الأحجام التي تشـــغلها الغازات المختلفـــة في الظروف المختلفة لدرجـــة الحرارة والضغط، وفكر أيضا كيف تتحلل الغازات في الماء، وأثر أثقال كل جســـيم من جسيمات الغاز علـــى حدة على مجمل خصائصها. وتوصل في العام 1801 إلى قانون الضغـــوط الجزئيـــة، ويقول هذا القانون إن إجمالـــي ضغط مزيج من

الغـــازات داخل حاوية هو مجمـــوع الضغوط التي يؤثر بها كل غاز على حدة في حاويته في الحالات نفســـها المتماثلة (أي في الحاوية نفســـها في درجة الحرارة نفسها).

جون دالتون ونموذجه الذري

أول كلام عن الأوزان الذرية:

ليـــس بالإمكان إعادة بناء تسلســـل أفـــكار دالتون كمـــا كانت بالدقة والتحديد، نظرا إلى عدم اكتمال مذكراته، ولكنه في مطلع القرن التاســـع عشـــر أصبح مقتنعا تماما بأن كل عنصـــر مؤلف من نوع مغاير من الذرة، وأنه نوع فريد خاص بهذا العنصر، وأن القســـمة الرئيســـية المميزة والتي مايزت عنصرا عن آخر هي وزن ذرات العنصر. هذا علاوة على أن جميع ذرات عنصـــر محدد متماثلة الوزن ولا يمكـــن تمييزها عن بعضها، كذلك فإن ذرات العناصر ذاتها لا تفنى ولا تستحدث. ولكن ذرات العناصر يمكن أن تتجمـــع مع بعضها لتؤلف «مركبا من ذرات» (وهو ما يمكن أن نســـميه اليـــوم جزيئا) وفق قواعد نوعية محددة. وتوصل دالتون إلى منظومة رموز تمثل العناصر المختلفة، وإن لم تحظ هذه الفكرة بالقبول على نطاق واسع، ولهذا سرعان ما تم إبدالها بالرموز الأبجدية المعروفة والمبنية على أساس أســـماء العناصر (وأحيانا بناء على أســـمائها اللاتينية). ولعل أكبر خطأ يشـــوب نموذج دالتون أنه لم يدرك أن عناصر مثل الهيدروجين مؤلفة من جزيئات (كما نسميها نحن الآن) وليست من ذرات مفردة - أي H2 وليس H. ونجده لهذا الســـبب، علاوة على أســـباب أخرى، أخطأ في فهم بعض عمليات الاتحاد الجزيئي، ووفق الرموز المســـتخدمة حديثا، تصور أن الماء مؤلف من Ho وليس H2o.

وعلى الرغـــم من أن دالتون عرض وصفا لبعـــض جوانب نموذجه في عديد من أوراق البحث والمحاضرات، فإن أول عرض كامل للفكرة ورد في محاضراته في المعهد الملكي في ديسمبر العام 1803 ويناير 1804، وقتما ســـاعد ديفي دالتون لشحذ عرضه وجعله مؤثرا. وعرض توماس تومسون المنظومـــة (دون أن يفرزها وحدها باعتبار أن لها اســـتحقاقا خاصا بها)

من العام 1827 وما بعدها إلى فرنسا وإيطاليا، حيث المناخ أكثر ملاءمة لحالته الصحية، ووافته المنية، ربما بسبب أزمة قلبية، في جنيف في 29 مايو 1829 وهو في الحادية والخمسين من العمر.

ولو أن همفري ديفي كان من أوائل من أفادوا من تحول العلم تدريجيا وببطء إلى مهنة، فإن حياة جون دالتون العلمية (حسبما كانت) توضح إلى أي مدى كان يتعين على هذه العملية أن تمضي قدما خلال العقود الأولى من القرن التاسع عشر. نعرف أن دالتون مولود في قرية إيغلرفيلد، في كومبرلاند، وأن ميلاده على الأرجح كان خلال الأسبوع الأول من سبتمبر عام 1766. وجدير بالذكر أن دالتون سليل أسرة من الكويكرز، غير أنه ولسبب ما لم يتم تسجيل تاريخ ميلاده على نحو محدد في سجل مواليد الكويكرز، ونعرف أيضا أنه كان له ثلاثة أشقاء توفوا صغارا، واثنان، هما جوناثان وماري، امتد بهما العمر. كان جوناثان هو الأكبر، ولكن لم تشتمل السجلات على ما يفيد ما إذا كانت ماري أصغر أم أكبر من جون. وعمل والدهم نساجا، وشغلت الأسرة كوخا من غرفتين، إحداهما للعمل ولبقية الأغراض المنزلية المعتادة، بينما الغرفة الأخرى للنوم. والتحق دالتون بمدرسة للكويكرز سمحت له بتطوير اهتماماته بالرياضيات بدلا من تلقينه قسرا اللاتينية، وأصبح محط اهتمام أحد أثرياء الكويكرز المحليين، ويدعى إليهو روبنسون، الذي أتاح له فرصة الاطلاع على ما لديه من كتب ودوريات. وعندما بلغ دالتون الثانية عشرة من العمر، وجد أن لزاما عليه أن يسهم بنصيب في دخل الأسرة، وحاول أول الأمر إعطاء دروس للصغار (وإن كان بعضهم أكبر منه بدنيا) في منزله؛ ثم بعد ذلك في دار ملتقى الكويكرز مقابل عائد مالي متواضع، ولكن لم يصب عمله هذا نجاحا، مما اضطره إلى التحول للعمل في الزراعة بدلا من ذلك. ولكن في عام 1781 حدث ما أنقذه من العمل في الحقل، وذلك عندما التحق بأخيه جوناثان الذي كان يساعد أحد أبناء عمومته، ويدعى جورج بيولي، في إدارة مدرسة للكويكرز في كندال، وهي مدينة مزدهرة تضم عددا ضخما من السكان الكويكرز، وتولى الأخوان مهمة إدارة المدرسة عندما تقاعد ابن العم في العام 1785، بينما قامت أختهما بتدبير شؤون المنزل لهما، وبقي

دالتون هناك حتى العام 1793. عمل على تطوير وتنمية اهتماماته العلمية تدريجيا من خلال الإجابة عن، وطرح أسئلة في المجلات العامة الرائجة وقتذاك، كما شرع في إجراء سلسلة طويلة من الأرصاد الجوية حرص على تسجيلها يوما بيوم ابتداء من 24 مارس 1787 وحتى وافته المنية.

أحس دالتون بالإحباط إزاء الفرص المحدودة والعائد المالي البائس من وظيفته التي لا تهيئ له سبيلا للترقي، لذلك تولد لديه طموح بأن يصبح إما محاميا أو طبيبا، وتدبر أمره ليعرف كم تكلفة دراسة الطب في إدنبره (ولكونه من الكويكرز، لم يكن من المسموح له الالتحاق بجامعة أكسفورد أو كيمبريدج، بغض النظر عن التكاليف). ولقد كان يقينا أهلا للمهمة فكريا، غير أن أصدقاءه أشاروا عليه بأن لا أمل أمامه للحصول على التمويل اللازم للوفاء بمثل هذا الطموح. ومن ثم شرع دالتون في تقديم محاضرات عامة يتلقى مقابلها قدرا ضئيلا من النفقات، وكان هدفه من ذلك أن يوفر من ناحيته فائضا بسيطا من المال وأن يشبع من ناحية أخرى ميوله العلمية. وعمد تدريجيا إلى توسيع نطاق نشاطه جغرافيا ليشمل أيضا مانشستر. وأصبح في العام 1793، كنتيجة جزئية لذيوع صيته بسبب عمله، معلما للرياضيات والفلسفة الطبيعية في كلية منشأة حديثا في مانشستر تأسست العام 1786 وسميت الكلية الجديدة (نيو كوليج) لتكون اسما على مسمى. وأصدر بعد انتقاله إلى مانشستر بقليل كتابا عما قام به من أرصاد جوية، والذي ألفه في كندال. ويناقش دالتون في تذييل لهذا الكتاب طبيعة بخار الماء وعلاقته بالهواء، ويصف البخار بأنه جسيمات تتخلل جسيمات الهواء، بحيث إن الضغوط المتعادلة والمتعارضة لجسيمات الهواء المحيطة على جسيم البخار لا يمكنها أن تقربها من جسيم بخار آخر، والذي من دونه لا يحدث التكثيف. وإذا عدنا بأنظارنا إلى الماضي يمكن أن نجد في هذا مقدمة لنظريته الذرية (*).

بدت مانشستر مدينة مزدهرة على مدى السنوات الخمسين التي قضاها فيها دالتون، حيث شهدت صناعة القطن تنطلق من داخل الأكواخ إلى المصانع في المدن الكبرى. وعلى الرغم من أن دالتون لم يكن ضالعا

(*) هذه في الواقع نموذج، في ذلك العصر، ولكنني ولأسباب تاريخية سألتزم بالتقليد المتبع في تسميتها نظرية.

المعهد الملكي في العـــام 1801. ومنحته كذلك كلية ترينتي في دبلن درجة الدكتـــوراه الفخرية في القانون؛ وهذه هي الدرجـــة العلمية الوحيدة التي حصل عليها.

ونســـتطيع أن نستشـــف منهج ديفي في إعداد المحاضـــرات من رواية ســـجلها جون دالتـــون عندما قدم سلســـلة محاضرات فـــي المعهد الملكي في ديســـمبر عام 1803 (الســـنة التي أصبح فيها ديفي زميلا بالجمعية الملكيـــة). يروي لنا دالتون كيف كتب بتوســـع وتفصيـــل أول محاضرة له، وكيف اصطحبه ديفي إلى قاعة المحاضرات مساء اليوم السابق على موعد المحاضـــرة وطلب منـــه أن يقرأها بصوت عال بينمـــا جلس ديفي في ركن قصي ينصت إليه، ثم بدأ ديفي بدوره يقرأ المحاضرة بينما دالتون يســـتمع إليـــه. «وفي اليوم التالي قرأت المحاضرة على ســـمع جمهور يتراوح عدده مـــا بين 150 و200 شـــخص... وأبدوا جميعا حماســـة مفرطة في ختام المحاضرة». بيد أن ديفي، شـــأنه شـــأن كثيرين من معاصريه (كما ســـوف نري)، أحجم عن قبول كل الدلالات التي انطوى عليها النموذج الذري عند دالتون.

وجدير بالذكـــر أن بحث ديفي في الكيميـــاء الكهربية قاده إلى إجراء تحليل وعرض شـــامل يليق بأســـتاذ متمكن عن العلم الذي لايزال في دور الفتـــوة، وقدم التحليل والعـــرض أمام الجمعية الملكيـــة ضمن إطار حفل جائزة باسم محاضرة بيكر(*) في العام 1806 - وبلغت المحاضرة مستوى رفيعا مـــن التمكن والإثارة، حتى أن الأكاديمية الفرنســـية منحته ميدالية وهدية خـــلال العام التالي، على الرغم من الحـــرب الدائرة بين بريطانيا وفرنســـا وقتذاك. وبعد ذلك بفترة وجيزة اســـتخدم طريقة تمرير تيارات كهربية عبر كربونات البوتاســـيوم والصوديـــوم، وعزل بذلك معدنيين غير معروفين في الســـابق وأطلق عليهما اســـم البوتاســـيوم والصوديوم. وفي العـــام 1810، عـــزل مـــادة الكلور وأطلـــق عليها هذا الاســـم. وعمد إلى

(*) المحاضـــرة البيكرية Bakerien Lecturs، محاضرة تمثـــل جائزة من قبل الجمعية الملكية في العلوم الفيزيائية. وتأسســـت حين رصد هنري بيكر في العام 1775 مبلغ 100 إسترليني مقابل محاضرة يلقيها أحد زملاء الجمعية عن موضوع في التاريخ الطبيعي أو الفلسفة التجريبية، وفق ما تحدده الجمعية [المترجم].

التحديد الدقيق لأي عنصر ويعتبره جوهرا إذا لم يكن بالإمكان تحليله عن طريق أي عملية كيميائية، وأوضح أن الكلور عنصر. وأكد بالدليل أن المكون الرئيسي لجميع الأحماض هو الهيدروجين، وليس الأكسجين. وتمثل هذه ذروة العمل العلمي الذي قدمه ديفي، بيد أنه لم يستفد أبدا كل طاقاته الحقيقية الكامنة، وذلك لأنه من ناحية يفتقر إلى التدريب الملتزم بالأصول، مما أدى به أحيانا إلى التسرع، مع الافتقار للتحليل الكمي الصحيح. وثمة سبب ثان وهو أن رأسه دار بتأثير الشهرة والثروة، حتى أنه بدأ يستمتع بالفرص الاجتماعية التي يتيحها له منصبه أكثر من استمتاعه بالعمل العلمي. وحصل على لقب فارس في العام 1812، وذلك قبل ثلاثة أيام من زواجه بأرملة ثرية، وقبل بضعة أشهر من تعيين ميشيل فارادي (خليفته في الواقع العملي) مساعدا في المعهد الملكي، واستقال في العام نفسه من منصبه كأستاذ للكيمياء في المعهد الملكي وخلفه وليام براند (1788 - 1866)، ولكنه احتفظ بدوره مديرا للعمل. وعقب ذلك مباشرة قام بصحبة عروسه (وأيضا فارادي) بجولة سياحية واسعة في أوروبا، وساعده في ذلك حصوله على جواز سفر خاص من الفرنسيين، قدمته فرنسا إليه هدية إلى العالم ذائع الصيت (ونعرف أن الحرب استمرت حتى العام 1815). وبعد العودة إلى بريطانيا وضع ديفي تصميم مصباح الأمان في المناجم الذي اشتهر باسمه، على الرغم من الأعمال التي قادت إلى هذا التصميم اتصفت بالدقة الشديدة والمشقة والجهد الدؤوب (وهو ما لا يتلاءم مع نهج ديفي المألوف)، ولهذا ذهب ظن بعض المعلقين إلى أن فارادي بذل جهدا كبيرا بالضرورة في هذا الصدد. وفي العام 1818 حصل ديفي على لقب بارونيت، كما انتخب في العام 1820 رئيسا للجمعية الملكية، حيث حظي بكل مظاهر المتعة والسعادة التي توفرها الاحتفالات الخاصة بهذا المنصب، وأصبح مزهوا بنفسه إلى درجة أنه في العام 1824 كان هو الزميل الوحيد بالجمعية الذي عارض انتخاب فارادي زميلا بالجمعية. ولكن ديفي منذ العام 1825 فصاعدا لازمه المرض بشكل مزمن، وتقاعد عن منصبه كمدير للمعمل في المعهد الملكي وكف عن أداء أي دور جديد في شؤون العلم في بريطانيا. وسافر

بيـــد أن مندلييف أراد أن يجعل العناصر ذات الخواص الكيميائية المتماثلة تصطف الواحد تحت الآخر في أعمدة جدوله، ولهذا اضطر إلى أن يترك فجــوات في الجدول. واســتطاع بحلول العام 1871 أن يشــذب ويصقل جدوله ليأخذ صورة جديدة تجسد جميع العناصر الثلاثة والستين المعروفة وقتذاك، مع إدخال بضع تعديلات بســيطة مــن مثل إبدال موضع كل من عنصـــري التلوريوم واليودين، وكذلك بالنســبة إلى موقع الفجوات الثلاثة التي قال هو عنها أنها تخص ثلاثة عناصر لم نكتشــفها بعد. واســتطاع مـــن خلال خواص العناصر المجاورة لها فـــي أعمدة الجدول، حيث توجد الفجــوات، أن يتنبأ بقدر من التفصيل بطبيعة خواص هذه العناصر. وبعد خمسة عشـــر عاما تم اكتشـــاف العناصر الثلاث اللازمة لسد الفجوات، ولهـــا الخواص ذاتها التي تنبأ بها مندلييف - وهذه العناصر هـي الجاليوم Gallium المكتشـــف العـــام 1875، والســـكانديوم Scandium المكتشـــف العام 1879 والغرمانيوم المكتشـــف فـــي العام 1886. وعلى الرغم من أن جدول مندلييف الدوري لم يلق استحســـانا شـــاملا أول الأمر (بل صادف في الحقيقـــة انتقادا لعزمه التدخل في الطبيعة عـــن طريق تغيير ترتيب العناصر)، إلا أنه بحلول تســعينيات القرن التاسع عشر لم يعد ممكنا بعد ذلك الشـــك في هذا التتابع الدوري الذي تشـــكل مـــن خلاله العناصر ما يمكن أن نســـميه عائلات ذات خواص كيميائية متماثلة بعضها مع بعض، والتي تختلف في داخلها الأوزان الذرية لكل عنصر بعضها عن بعض على أســـاس ثمانية أضعاف الوزن الذري للهيدروجـــين، وأصبح يمثل الحقيقة في أعمق صورها عن طبيعة العالم الكيميائي. ويمثل هذا التوزيع الدوري مثالا كلاســـيكيا للمنهج العلمي في التطبيق، موضحا الســـبيل أمام علماء القرن العشـــرين. واستطاع مندلييف، تأسيسا على كم كبير من المعلومات، أن يحدد نمطا قاده إلى التنبؤ بما تؤكده التجربة. وطبيعي أنه حين أكدت التجارب نبوءته، تعزز الفرض العلمي الذي بني على أساسه التنبؤ.

وقـــد يبدو مـــن دواعي الغرابة والدهشـــة في نظـــر المحدثين أن هذا البرهـــان لم يصـــادف قبولا من الجميع من دون اســـتثناء كبرهان على أن الـــذرات لها وجود حقيقي في صورة كيانات صلبة دقيقة تتحد بعضها مع

بعض بطرق محددة للغاية. وبينما سار الباحثون الكيميائيون على نهج واحد في بحثهم للبنية الباطنية للمادة والوصول إلى دليل دعم على الأقل الفرض العلمي الخاص بالذرة، اتبع الفيزيائيون مسارا آخر انتهى بهم في آخر المطاف إلى برهان لا يقبل الجدل يؤكد وجود الذرات.

علم الديناميكا الحرارية:

كانت الفكرة الجامعة في هذا المسار الذي التزمته فيزياء القرن التاسع عشر هي دراسة الحرارة والحركة، وهي الدراسة التي باتت معروفة باسم الديناميكا الحرارية. وتعتبر الديناميكا الحرارية إحدى نواتج الثورة الصناعية التي زودت علماء الفيزياء بأمثلة (من مثل القاطرة البخارية) عن الحرارة في التطبيق العملي، وألهمت العلماء الحاجة إلى بحث حقيقة ما يجري داخل هذه الماكينات، ليكون الفهم تغذية مرتدة إلى الثورة الصناعية، في صورة فهم علمي محسنا لكل ما يجري ومن ثم تهيئة الإمكانية لتصميم وبناء ماكينات أكثر كفاءة. وسبق أن رأينا كيف أنه في مطلع القرن التاسع عشر لم يكن ثمة توافق في الآراء بشأن طبيعة الحرارة، وكان لكل من فرض السيال الحراري وفكرة أن الحرارة إحدى صور الحركة أنصاره ومؤيدوه. وفي منتصف عشرينيات القرن التاسع عشر بدأ الاعتراف بالديناميكا الحرارية كموضوع علمي (وإن لم يكن المصطلح معروفا إلى أن صاغه في العام 1849 وليام تومسون)، وبدأ في منتصف ستينيات القرن التاسع عشر تحديد القوانين والمبادئ الأساسية لها. ولكن حتى مع هذا كان لا بد من الانتظار أربعين سنة أخرى إلى حين الاستفادة بدلالات جزء صغير من هذا الانجاز كبرهان حاسم يؤكد حقيقة الذرات.

وجدير بالذكر أن التطورات المفاهيمية الأساسية التي أدت إلى فهم الديناميكا الحرارية تضمنت فكرة الطاقة والتحقق من أن الطاقة يمكن تحولها من صورة إلى صورة أخرى، ولكن لا يمكن أن تفنى أو أن تستحدث، هذا علاوة على التحقق من أن العمل هو إحدى صور الطاقة (وهو ما ألمح إليه كثيرا رامفورد في بحثه عن الحرارة الناجمة عن عمل تجويف طولي أسطواني لماسورة المدفع). ويبدو ملائما أن نؤرخ لبداية علم الديناميكا

الحرارية بصدور كتاب من تأليف الفرنسي سادي كارنو (1796 - 1832) في العام 1824. قدم كارنو في كتابه هذا، وعنوانه «تأملات عن القوة الدافعة للنار» Reflexions sur la Puissance motive du feu، تحليلا عن كفاءة المحركات في تحويل الحرارة إلى عمل (مع بيان التعريف العلمي للعمل)، وأوضح أن العمل يتم في صورة حرارة تنتقل من درجة حرارة أعلى إلى درجة حرارة أقل (ويشير بذلك ضمنا إلى صورة باكرة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية مع تأكيد أن الحرارة تنساب دائما من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأكثر برودة وليس العكس)، وأشار أكثر من ذلك إلى إمكان عمل المحرك داخلي الاحتراق. ولكن للأسف، توفي كارنو بسبب مرض الكوليرا وهو في السادسة والثلاثين من العمر، وتشتمل مذكراته على مزيد من التطوير لهذه الأفكار، بيد أنها لم تنشر وقت وفاته. وأحرقت أغلبية مخطوطاته علاوة على كثير من متعلقاته بسبب مرض الكوليرا الذي أودى بحياته؛ ولم يتبق سوى صفحات قليلة توضح بعض إنجازاته. بيد أننا نعرف أن كارنو في الحقيقة هو أول من أدرك أن الحرارة والعمل يمكن أن يتحول أحدهما إلى الآخر، وأنه هو أول من حدد كم العمل اللازم (في ضوء رفع ثقل معين بشكل رأسي إلى مسافة ما) ليغل كمية محددة من الحرارة (مثل الحرارة المفقودة عند تبريد 1 غم من الماء درجة واحدة مئوية). ولم يحز كتاب كارنو شهرة ولم يحقق نفوذا وقت صدوره إلى أن ورد ذكره في العام 1834 خلال مناقشة لأعمال كارنو ضمن بحث كتبه إميل كلابيرو (1799 - 1864)، وهكذا بفضل هذا البحث أصبح عمل كارنو معروفا وحقق تأثيرا في جيل الفيزيائيين الذين أكملوا ثورة الديناميكا الحرارية ونخص بالذكر منهم وليام تومسون ورودولف كلوزيوس.

وإذا بدت قصة كارنو معقدة، فإن سبيل الفيزيائيين لإدراك طبيعة الطاقة سبيل أشد تعقيدا للغاية. وإن أول شخص صاغ بالفعل مبدأ بقاء الطاقة Conservation of energy ونشر تحديدا صائبا للمكافئ الميكانيكي للحرارة (*) هو بالفعل فيزيائي ألماني يدعي جوليوس روبرت فون مايير (1814 - 1878)، إذ

(*) نشر مارك سيفوين (1786-1875) تصورا أكثر بدائية العام 1839.

توصل إلى نتائج محسومة بفضل دراساته عن البشر وليس المحركات البخارية. ونظرا إلى أنه توصل إلى رأيه هذا عبر توجه «خاطئ»، وفق ما يرى الفيزيائيون، فقد كان مصيره الإغفال (أو على الأقل التجاوز) وقتذاك. ونعرف أن ماير في العام 1840، وهو لايزال حديث التخرج، عمل طبيبا في إحدى السفن الألمانية التي زارت جزر الهند الشرقية. وكانت عادة نزف الدم لاتزال شائعة وقتذاك، ليس فقط بهدف (على حد الزعم السائد) تخفيف أعراض المرض بل كإجراء معتاد في المناطق الاستوائية، حيث يعتقد الناس أن نزف أو استخراج قليل من الدم يساعد الناس على تحمل حرارة الجو. وكان ماير على معرفة جيدة بجهود لافوازييه التي أوضحت أن الحيوانات ذات الدم الحار تظل محتفظة بالدفء بفضل الاحتراق البطيء للطعام الذي يعمل كوقود مع الأكسجين داخل الجسم، وعرف كذلك أن الدم الأحمر القاني غني بالأكسجين ويسري في كل أنحاء الجسد عبر الشرايين ابتداء من الرئتين، بينما الدم الأرجواني الداكن الخالي من الأكسجين يعود ثانية عبر الأوردة إلى الرئتين. وهكذا فإنه حين فتح أحد أوردة بحار من جاوة، فوجئ بأن الدم ذو لون فاتح مثل دم الشرايين. وثبت له صدق ما رأى في دم عروق بقية البحارة جميعهم، وكذلك هو نفسه. ولا بد أن أطباء آخرين شهدوا الشيء نفسه، ولكن ماير وهو لايزال في منتصف العشرينيات من العمر وحديث التخرج هو الذي تحير في فهم ما يجري، وأدرك أن السبب في أن دم الأوردة غني بالأكسجين هو أن الجسم في ظل حرارة المنطقة الاستوائية يحرق وقودا أقل (ومن ثم يستهلك أكسجين أقل) لكي يحتفظ بالدفء. ورأى في هذا ما يفيد بأن جميع أشكال الحرارة والطاقة قابلة للإبدال - الحرارة المتولدة عن الإجهاد العضلي، وحرارة الشمس، والحرارة المتولدة عن إحراق الفحم أو.. أو.. إلخ - وأن الحرارة، أو الطاقة، لا تستحدث، أي لا تنشأ من عدم، وإنما تتبدل فقط من صورة إلى أخرى.

وعاد ماير إلى ألمانيا في العام 1841 حيث مارس مهنة الطب. بيد أنه في موازاة مع عمله الطبي طور اهتمامه بالفيزياء وتوسع في قراءاته، وأصدر ابتداء من العام 1842 وما بعده أول أبحاثه العلمية لافتا الأنظار (أو محاولا لفت الأنظار) إلى هذه الأفكار. وفي العام 1848، طور أفكاره عن الحرارة والطاقة ليمتد الحوار إلى مناقشة عمر الأرض والشمس، وهو ما سوف

نعـــرض له بعد قليل. ولكن مضت كل أعماله مـــن دون أن تلقي انتباه مجتمع علماء الفيزياء، واستشعر ماير اكتئابا شديدا بسبب عدم الاعتراف به، حتى أنـــه حاول الانتحار في العام 1850، وأودع في عديد من مؤسســـات الصحة العقلية على مدى خمســـينيات القرن التاسع عشـــر. ولكن منذ العام 1858 وما بعده، أعيد اكتشـــاف أعماله وتقديرها من قبـــل هيرمان فون هلمهولتز (1821 - 1895) وكلوزيوس وجون تندال (1820 - 1893). واستعاد ماير صحته، وحصل على ميدالية كوبلي من الجمعية الملكية في العام 1871، وذلك قبل وفاته بسبع سنوات.

جيمس جول والديناميكا الحرارية

أول عالم فيزيـــاء تفهم جيدا حقيقة مفهوم الطاقة (باســـتثناء كارنو ذي الحـــظ التعس الذي وئـــدت جهوده في مهدها) هو جيمـــس جول (1818 - 1889) المولود في سالفورد قرب مانشستر، وابن ثري يمتلك مصنعا للخمور. ونظرا إلى أن جول سليل أسرة تملك أسباب عيشها في استقلال فإنه لم يكن ليساوره قلق على مستقبل حياته العملية، بيد أنه وهو لايزال في العقد الثاني مـــن العمر قضى فترة من حياته في مصنـــع الخمور الذي كان من المتوقع أن يرث نصيبا فيه. ولعل خبرته المباشرة بآلية العمل هي التي أججت في نفسه روح الاهتمام بالحرارة، على نحو ما شـــاهد من قبله بريســـتلي الغازات التي تتصاعد في أثنـــاء عملية التخمر وألهمته بإنجازاته. ولكن حدث أن أبا جول باع مصنع الخمور في العام 1854 بينما جيمس في الخامســـة والثلاثين من العمر، بما يعني أنه لن يرث منه شـــيئا. تعلم جـــول تعليما خاصا، وفي العام 1834 أرســـل الأب ابنه جيمس وأخاه الأكبر لدراسة الكيمياء على يدي جون دالتون. كان دالتون وقتذاك في الثامنة والستين من عمره، وقد اعتلت صحته، ولكنه كان لايزال يعطي دروسا خاصة؛ وعلى أي حال، تعلم الولدان على يديه نزرا يســـيرا من الكيمياء ذلك أنه أصر على أن يـــدرس لهما بداية إقليدس، الأمر الذي اســـتغرق دروســـا على مدى سنتين بمعدل ساعتين منفصلتين في الأسبوع، ثم توقف عن التدريس في العام 1837 بسبب المرض. غير أن جول ظـــل على علاقـــة ودية مع دالتـــون، واعتاد زيارته بين الحـــين والآخر لتناول

الشاي، حتى توفي دالتون في العام 1844، وفي العام 1836 حول جول إحدى قاعات بيت الأسرة إلى معمل يعمل فيه مستقلا، وتميز أيضا بأنه كان عضوا نشـطا في الجمعية الفلسـفية والأدبية في مانشسـتر، حيث اعتاد الجلوس بجوار دالتون لسـماع المحاضرات (اعتاد ذلك حتى قبل أن يصبح عضوا في الجمعية). وهكذا كان على صلة وثيقة بمجريات الأمور في دنيا العلم.

اسـتهل جـول جهوده فـي باكورة حياتـه بالعمل في مجال المغناطيسـية الكهربيـة، حيث كان يأمل فـي اختراع محرك كهربي يكـون أقوى وأكفأ من المحـركات البخاريـة في زمانه. وأخفقـت محاولاته، وإن جذبتـه إلى مجال البحـث فـي طبيعة العمل والطاقـة. وقدم في العـام 1841 أوراق بحث عن العلاقة بين الكهرباء والحرارة للمجلة الفلسـفية وللجمعية الفلسفية والأدبية في مانشستر (وسبق له أن قدم نسخة من هذا البحث للجمعية الملكية ورفضته على الرغم من أن الجمعية نشـرت عرضا موجزا له). وفي العام 1842، قدم عرضـا لأفكاره في الاجتماع السـنوي للرابطة البريطانيـة لتقدم العلم، وهو حدث فلسفي مشائي تصادف وقوعه في تلك السنة في مانشستر. كان لايزال في الثالثة والعشـرين من عمـره. وقدم جول أعظم أعماله خلال السـنوات القليلة التالية، إذ استحدث خلال هذه الفترة التجربة الكلاسيكية التي تبين أن العمل يتحول إلى حرارة عن طريق تحريك المياه داخل حاوية بعجلة دوارة ذات مجاديـف، ثم قياس ارتفاع درجة الحرارة. وألقى في العام 1847 محاضرتين في مانشستر عرض خلالهما، من بين أمور أخرى، قانون بقاء الطاقة وأهميته للعالم الفيزيائي. وفق معلومات جول، لم يتوصل أحد إلى هذا القانون من قبل. وبدا متلهفا لكي يرى أفكاره مطبوعة، ومن ثم عمل بمسـاعدة أخيه على نشر المحاضرتين كاملتين في إحدى الصحف، وهي صحيفة «مانشسـتر كوريير» - الأمر الذي أثار حيرة القراء ومن دون مخاطبة المجتمع العلمي. ولكن في فترة متأخرة من السـنة نفسـها اجتمعت في أكسـفورد الرابطة البريطانية لتقدم العلم حيث قدم جول ملخصا لأفكاره. وسـرعان ما التقط أهمية هذه الأفكار على الفور شـاب بين الحضور وهو وليام تومسـون (البالغ 22 سنة وقتذاك). وأصبح الاثنان صديقين ومشاركين معا في التعاون العلمي، وعملا على دراسة نظرية الغازات، مع الاهتمام بوجه خاص بطريقة برودة الغازات عند انتشارها

(والمعروفة باسم ظاهرة جول - تومسون، وهو المبدأ الذي تعمل به المبردات -الثلاجات). ونشر في العام 1848 ورقة بحث أخرى مهمة من منظور الفرض الذري Atomic hypothesis، حيث وضع تقديرا لمعدل سرعة حركة جزيئات الغاز. وعالج هنا الهيدروجين باعتباره مؤلفا من جسيمات دقيقة تتواثب بعيدا عن بعضها وعن جدران الحاوية. وتوصل في حسابه (على أساس وزن كل جسيم والضغط الواقع عليه بفعل الغاز) إلى أنه عند درجة حرارة 60°ف وضغط يعادل 30 بوصة زئبق (أي ما يعادل ظروف قاعة ملائمة) تتحرك جسيمات الغاز بسرعة 6225.54 قدما في الثانية. وحيث إن جزيئات الأكسجين تزن ما يعادل ستة عشر مثلا لوزن جزيئات الهيدروجين، وحيث إن العلاقة الصحيحة تتبني على أساس واحد على الجزء التربيعي للكتلة، فإن جزيئات الأكسجين في الهواء العادي وفي ظروف متماثلة تتحرك بمعدل ربع هذه السرعة، أي 1556.39 قدما في الثانية. وتم الاعتراف على نطاق واسع في أربعينيات القرن التاسع عشر بإنجازات جول في مجال ديناميكا الغازات، وخصوصا قانون بقاء الطاقة (وانتهى به الأمر بأن قرأ ورقة بحث أساسية في هذا الموضوع أمام الجمعية الملكية في العام 1849، مما يعد من دون أدنى شك تعويضا عن رفضها في السابق لبحث قدمه في مطلع حياته العلمية)، وانتخبته الجمعية الملكية زميلا بها في العام 1850. ولكنه وقد أصبح في ثلاثينات العمر، لم ينجز جديدا يعادل أهمية ما أنجزه في باكر حياته، وهو الأمر الذي يحدث عادة. وهكذا انتقلت الشعلة إلى أيادي تومسون وجيمس كلارك ماكسويل ولودفيج بولتزمان.

وليام تومسون (لورد كالفن) وقوانين الديناميكا الحرارية

إذا كان جول جاء إلى الدنيا وفي فمه ملعقة من الفضة، وأنه نتيجة لذلك لم يعمل أبدا في بيئة جامعية، فإن تومسون ولد وفي فمه ملعقة من فضة من نوع آخر، وقضى نتيجة لذلك جل حياته وسط بيئة الجامعة. إذ أبوه، جيمس تومسون، كان أستاذا للرياضيات بالمعهد الأكاديمي الملكي في بلفاست (الإرهاصة الأولى لجامعة بلفاست) وقتما ولد وليام في 26

يونيو 1824. وكان له أشـقاء كثيرون، غيـر أن الأم توفيت وقتما كان وليام في السادسـة، وتلقى وليام وأخوه جيمـس (1822 - 1892)، الذي أصبح هو أيضا عالم فيزياء، تعليمهما في البيت على يدي أبيهما. وبعد أن أصبح الأخ الأكبر جيمس تومسـون أستاذا للرياضيات بجامعة غلاسجو في العام 1832، سـمحت السـلطات للصبيين بالاسـتماع للمحاضرات والتسجيل رسـميا بالجامعة (وفق نظام القبول كطالـب) وذلك في العام 1834 بينما كان وليام في العاشـرة - ولم يكن ذلك بهـدف الحصول على درجة علمية بـل فقط الاعتياد على الاختلاف إلـى المحاضرات. انتقل وليام إلى جامعة كيمبريدج في العام 1841، وتخرج فيها العام 1845، وفاز حتى هذا التاريخ بالعديد من الجوائز لمقالاته العلمية، فضلا عن أنه نشـر سلسلة من أوراق البحث في صحيفـة كيمبريدج للرياضيـات Cambridge Mathematical Journal. وبعـد التخرج عمل وليام لفترة وجيزة في باريس (حيث نشـأت علاقـة ألفة بينه وبين كارنو)، بيد أن آخر أمنيات الأب كانت أن يلتحق ابنه النابغة بجامعة غلاسـكو معه، وحدث مع الوقت أن توفي أسـتاذ الفلسـفة الطبيعية في غلاسـكو (لم يكن حدثـا مفاجئا نظرا إلى أنه كان هرما) في العام 1846، وشـرع الأب في خـوض معركة ناجحة بغية أن يرى ابنه، وقد انتخبته الجامعة ليشـغل المنصب الشـاغر. ولم يمتد العمر طويلا بجيمس تومسـون ليتمتع بالوضع الجديد، إذ وافته المنية بسـبب مرض الكوليرا في العام 1849. وظل وليام تومسـون في منصب أستاذ الفلسفة الطبيعية في غلاسكو من العام 1846 (وقتما كان في الثانية والعشرين من العمر) وحتى تقاعد في العام 1899 وهو في الخامسة والسبعين؛ والتحق بعد ذلك كطالب بحث بالجامعة لكي يكون له شأن ودور في الجامعة، ولعل هذا جعل منه في آن واحد الطالب الأصغر سـنا والطالب الأكبر سـنا في جامعة غلاسـكو. ووافته المنية في لارغس في أيرشاير في السابع عشر من ديسمبر في العام 1907 ووورى التراب بجوار إسحق نيوتن في وستمنستر آبي.

إن شهرة تومسون وتكريمه في مثواه الأخير يعودان فقط كاستحقاقات لإنجازاتـه العلمية. حقق أعظم تأثير له في بريطانيا الفيكتورية من خلال ارتباطـه بالتكنولوجيـا التطبيقية، بما في ذلك مسـؤوليته عن نجاح أول

كيبل تلغرافي يعمل عبر الأطلسي (بعد محاولتين سابقتين أخفقتا لعدم الاستفادة بخبرته العملية)، وحقق لنفسه ثروة بفضل براءات اختراعاته في أنواع مختلفة. وجدير بالذكر أنه حصل على لقب فارس في العام 1866، ويرجع الفضل في ذلك أساسا إلى دوره في نجاح الكيبل (الذي تعادل أهميته وقتذاك أهمية الإنترنت في مطلع القرن الحادي والعشرين)، وكان هذا بمنزلة الضوء الهادي للتقدم الصناعي، والذي بفضله أصبح اسمه بارون كلفين أوف لارغس في العام 1892، واتخذ اسمه من اسم نهر يجري عبر موقع جامعة غلاسكو. وعلى الرغم من أن لقب فارس جاء بعد فترة طويلة من الإنجاز العلمي الذي حققه تومسون، فإن تومسون كثيرا ما يشار إليه في الأوساط العلمية باسم لورد كلفين (أو كلفين فقط)، وأحد أسباب ذلك هو التمييز بينه وبين عالم الفيزياء جي. جي تومسون، الذي لا تربطه به علاقة ما. وغني عن الذكر أن القياس المطلق أو القياس الديناميكي الحراري لدرجة الحرارة يسمى قياس كلفين Kelvin Scale تكريما له.

وعمل تومسون أيضا في مجالات أخرى (من بينها الكهرباء والمغناطيسية اللتان سنعرض لهما في الفصل التالي)، بيد أن أهم عمل له في الحقيقة هو تأسيس الديناميكا الحرارية كمبحث علمي مع مطلع النصف الثاني من القرن التاسع عشر. وانطلاقا من أعمال كارنو بشكل أساسي، استطاع تومسون منذ فترة باكرة في العام 1848 أن يؤسس القياس المطلق لدرجة الحرارة الذي ينبني على فكرة أن الحرارة تعادل العمل، وأن كل تغير في درجة الحرارة يطابق كمية مماثلة من العمل، ويحدد هذان معا القياس المطلق ذاته مقترنا ما يفيد ضمنا وجود حد أدنى ممكن لدرجة الحرارة (273 - درجة مئوية، والتي نكتبها الآن ok) التي لا يمكن عندها أداء مزيد من العمل حيث لا يمكن استخلاص حرارة من المنظومة. وحدث خلال هذه الفترة أن قام ردولف كلوزيوس (1822 - 1888) في ألمانيا بتعديل وصقل وتطوير أفكار كارنو (وغني عن البيان أن أعمال كارنو كانت بحاجة إلى مراجعة دقيقة شاملة علاوة على أنه استخدم من بين أمور أخرى فكرة السيال الحراري). وعرف تومسون عن جهود كلوزيوس في مطلع خمسينيات القرن التاسع عشر، وقتما كان هو يجري بحوثه في

الإطار ذاته. وتوصل كل منهما، وباستقلال عن بعضهما إلى حد كبير، إلى المبادئ الأساسية للديناميكا الحرارية.

ويقول القانون الأول للديناميكا الحرارية، وفق ما هو معروف إجمالا، إن الحرارة عمل أو جهد، ويهيئ لنا بذلك رؤية نافذة ومثيرة للاهتمام عن طريقة تطور العلم في القرن التاسع عشر، بحيث كان ضروريا في خمسينيات القرن التاسع عشر توضيح ذلك كقانون للطبيعة. ويمثل القانون الثاني للديناميكا الحرارية فكرة أهم شأنا، بل ويقال الفكرة الأهم والأكثر أساسية في العلم كله. ويقول في إحدى صوره إن الحرارة لا يمكنها بإرادتها أن تنتقل من جسم أبرد إلى جسم أكثر سخونة. ويبدو في صورته هذه واضحا وكأن لا جديد فيه. إذ يكفي وضع مكعب ثلج في إناء ماء دافئ حتى تفيض الحرارة من الماء الدافئ إلى الثلج البارد وتجعله يذوب، إنها لا تفيض من الثلج إلى داخل الماء لتجعل الثلج أكثر برودة والماء أكثر سخونة. ولكن لنعبر عن ذلك بطريقة أكثر بيانا حتى تكون الأهمية الشاملة والكونية للقانون الثاني أكثر وضوحا. يقول القانون إن الأشياء تبلى - كل شيء يبلى بما في ذلك الكون ذاته. ونجد من منظور آخر أن كمية الفوضى في الكون (والتي يمكن قياسها رياضيا بناء على كمية سماها كلوزيوس الأنتروبيا Entropy) تزداد دائما بشكل عام. وأن السبيل الوحيد الممكن للحفاظ على النظام أو لزيادته في المناطق المحلية، مثل كوكب الأرض، هو توافر فيض من الطاقة تفيض من خارج (من الشمس في حالتنا هذه) لتغتذي عليها وتستهلكها. ولكن أحد قوانين الطبيعة يفيد بأن نقص الأنتروبيا بفعل الحياة على الأرض التي تغتذي على الشمس أقل من الزيادة في الأنتروبيا المقترنة بالعمليات التي تحافظ على سطوع الشمس، مهما كانت تلك العمليات. بيد أن هذا لا يمكن أن يستمر إلى ما لا نهاية - ذلك أن مدد الطاقة التي تفيض من الشمس ليس أمرا غير قابل للنفاد. وهذه هي الفكرة التي أدت بتومسون إلى أن يكتب ضمن بحث منشور في العام 1852 أنه:

> كانت الأرض على مدى فترة محدودة في الزمان الماضي، وخلال فترة محددة في الزمن الآتي غير ملائمة ليأهلها البشر على حالها اليوم، ما لم تكن قد وقعت أو

> ستقع عمليات مستحيلة الوقوع طبقا للقوانين التي تجري على أساسها العمليات المعروفة لنا في الوقت الراهن في العالم المادي.

كان هذا أول اعتراف علمي حقيقي بأن الأرض (ومن ثم الكون) لها بداية محددة، والتي يمكن تحديد تاريخها بناء على تطبيق المبادئ العلمية. وجدير بالذكر أنه حين طبق تومسون نفسه المبادئ العلمية على المشكلة استطاع أن يحسب عمر الشمس عن طريق حساب المدى الزمني الذي يمكن أن تستمر فيه في توليد الحرارة بمعدلها الراهن بناء على أكثر العمليات كفاءة المعروفة له وقتذاك، ورأى أنها تتكمش ببطء من حيث وزنها، وتحول تدريجيا الطاقة التثاقلية، أي طاقة الجذب gravitational energy، إلى حرارة. وتمثلت الإجابة في بضع عشرات الملايين من السنين - أقل كثيرا من القياس الزمني الذي حدده الجيولوجيون في خمسينيات القرن التاسع عشر، والذي سيحدده بعد قليل علماء التطور. وطبيعي أن جاء حسم اللغز عند اكتشاف النشاط الإشعاعي، ثم بعد ذلك بفضل جهود أينشتين التي أوضحت أن المادة هي أحد أشكال الطاقة، وقدم لنا معادلته الشهيرة $E = Mc2$. وسوف نناقش كل هذا في فصول تالية. ولكن من المهم الإشارة إلى أن النزاع بين قياسات الجيولوجيا والتطور وبين القياسات التي عرضتها الفيزياء وقتذاك آثار جلبة استمرت طوال النصف الثاني من القرن التاسع عشر.

وأقحم هذا العمل تومسون في نزاع مع هرمان فون هلمهولتز (1821 - 1894)، الذي توصل إلى نتائج مماثلة في استقلال عن تومسون. ووقعت مشاحنة لا علاقة لها بالتنوير الثقافي بين مؤيدي الاثنين حول أولوية أي منهما، وبدت حدثا غير ذي موضوع نظرا إلى أن كلا من سيئ الحظ مايير والأسوأ حظا المدعو جون ووترستون توصلا إلى النتائج معا. ووترستون (1811 - 1883) كان أسكوتلانديا، من مواليد إدنبره، وعمل مهندسا مدنيا في السكك الحديد الإنجليزية قبل أن يرحل إلى الهند في العام 1839، ليدرس لطلاب شركة الهند الشرقية. وادخر من المال ما يكفي لكي يتقاعد في العام 1857 وعاد إلى إدنبره ليرصد وقته للبحث فيما عرف بالديناميكا الحرارية، علاوة على البحث في مجالات أخرى في الفيزياء. ولكنه اعتاد

منـــذ زمن طويل البحث في نطـــاق العلم في أوقات فراغـــه، وكتب في العام 1845 ورقة بحث يصف فيهـــا طريقة توزيع الطاقة بين ذرات وجزيئات الغاز وفقا لقواعد إحصائية - ليس على أساس أن كل جزيء له السرعة ذاتها، بل في نطاق ســـرعات موزعة وفق قواعد إحصائية تدور حول متوسط السرعة، وأرســـل فـــي العام 1845 ورقة البحث التي تعرض هـــذا الأمر من الهند إلى الجمعيـــة الملكية، التي لـــم تكتف فقط برفضها (لـــم يفهمها المحكمون، ومن ثـــم رفضوها باعتبارها هراء) بل وفقدتها. وتضمنت ورقة البحث حســـابات لخواص الغازات (من مثل حرارتها النوعية) تأسيسا على هذه الأفكار، وكانت صحيحة في جوهرها؛ ولكن ووترســـتون أهمل ولم يحتفظ لنفســـه بنســـخة منهـــا، ولم يعد كتابتها على الرغم من أنه نشـــر بحوثـــا وثيقة الصلة بها عند عودتـــه إلى إنجلترا، وكان مصيرها الإهمـــال في أغلب الأحيان. ونجد أيضا أنه سابق على كل من تومسون وفون هلمهولتز، وإن كان معاصرا لماير، وذلك من حيث رؤيته النافذة عن كيفية تولد الحرارة بوسائل تثاقلية gravitational means للحفاظ على حرارة الشمس. واكتأب ووترستون واعتلت صحته، مثله مثل ماير، من جراء عدم الاعتراف بأعماله. وخرج من بيته يوم الثامن عشر مـــن يونيو 1883 ولم يعد ثانية. بيد أننا نجد ما يمكن وصفه بنهاية ســـعيدة للقصـــة - إذ في العام 1891 عُثر على مخطوطة ووترســـتون المفقودة داخل إحدى قاعات الجمعية الملكية، ونُشرت في العام 1892.

جيمس كلارك ماكسويل ولودفيج بولتزمان:
النظرية الحركية ومتوسط المسار الحر للجزيئيات

إلى هنا تأسست وثبتت منذ زمن النظرية الحركية أو الكينتيكية Kinetic theory للغازات (وهي النظرية التي تعالج الغازات تأسيسا على حركة الذرات والجزيئات المكونة لها) وأفكار الميكانيكا الإحصائية Statistical mechanics (التي تطبق القواعد الإحصائية لوصف سلوك مجموعات الذرات والجزيئات). وإن أهم لاعبين أساســـيين أسســـا هذه الأفكار هما جيمس كلارك ماكسويل (الذي برز ضمن ســـياق آخر في الفصل الثانـــي) ولودفيج بولتزمان (1844 - 1906). بعـــد أن حســـب جول ســـرعات حركة الجزيئات فـــي الغاز، قدم

كلوزيوس فكرة متوسط المسار الحر mean free path(*) ووضح أن الجزيئات لا تتحرك من دون حدوث حيود في السـرعات العالية التي حسـبها جول؛ إذ إنها تتصادم مرارا وتقفز في اتجاهات مختلفة. ويعتبر متوسـط المسار الحر هو معدل المسـافة التي يقطعها الجزيء فيما بين التصادمات، وهي مسـافة صغيرة جدا. وعرض ماكسـويل خلال الاجتماع السنوي للرابطة البريطانية لتقدم العلم في العام 1859 (الذي انعقد تلك السـنة في أبردين) ورقة بحث تتضمـن (من دون أن يعرف) الكثير مما يعتبر صـدى للمادة التي وردت في ورقة بحث واتيرسـتون المفقودة. ولكن المجتمع العلمي كان في هذه المرة على أهبة الاستعداد للإنصات جيدا والانتباه لما يقال. وأوضح في بحثه كيف تتوزع سرعات الجسيمات في غاز ما حول متوسط السرعة. وحسب متوسط سرعة الجزيئات في الهواء في درجة حرارة 60° ف بـ 1505 قدما في الثانية، وحدد متوسـط المسـار الحر لتلك الجزيئات بـ 1/447.000 من البوصة. أو لنقل بعبـارة أخرى أنه مع كل ثانية يحـدث كل جزء 8.077.200.000 تصادما - أكثر مـن ثمانية مليارات تصادم في الثانية الواحدة. وجدير بالذكر أن قصر متوسط المسار الحر وترددات هذه التصادمات هو الذي خلق الوهم بأن الغاز سـائل سـلس أملس متصل، بينما هو مؤلف من عدد مهول من الجسـيمات الدقيقـة التـي في حركة دائمـة، من دون وجود أي شـيء على الإطلاق في الفجوات بين الجسـيمات. ولعل ما هو أجل شـأنا أن هـذا العمل هو الذي أدى إلى فهم كامل للعلاقة بين الحرارة والحركة - درجة حرارة جسم ما هي مقياس متوسط السرعة التي تتحرك بها الذرات والجزيئات التي يتألف منها هذا الجسم وهكذا تم التخلي نهائيا عن مفهوم السيال الحراري.

وطور ماكسـويل هذه الأفكار أكثر خلال سـتينيات القرن التاسـع عشر، وطبقها في مجال تفسـير الكثير من الخواص المشاهدة في الغازات، من مثل معامل لزوجة الغازات وكذلك، كما شاهدنا، طريقة تبريدها حال تمددها (وهو ما تبين أنه بسـبب أن الذرات والجزيئات في الغاز تتجاذب إلى بعضها على

(*) حري بنا أن نذكر أن جون هيراباث (1790-1868)، المولود في بريستول، استحدث صيغة باكرة للنظرية الحركية ونشـرها العام 1821، وكان أسبق من عصره بزمن طويل، بحيث لم تكن دقيقـة تماما من حيـث التقدير الكمي، غير أن جول عرف جهد هيراباث وسـاعده على اتخاذ الوجهة الصواب.

نحو طفيف، ولهذا فإن بـذل الجهد يغدو ضروريا للتغلب على هذا التجاذب حال انتشـار الغاز بحيث تخف سـرعة الجسيمات ومن ثم تبرد درجة حرارة الغاز)، وتبنى الباحث النمساوي لودفيج بولتزمان أفكار ماكسويل وعمل على صقلها وتحسـينها، ووفقا لنهج التغذية المرتدة البنائية، وضع ماكسويل بعين الاعتبار بعضا من أفكار بولتزمان وأفاد بها لتحقيق مزيد من التحسينات على النظريـة الحركية. وتمثلت إحدى نتائج هـذه التغذية المرتدة في أن القاعدة الإحصائية التي تصف انتشار معامل اللزوجة (أو الطاقات الحركية Kinetic energies) للجزيئات في غاز ما حول متوسطها أصبحت تعرف باسم انتشار ماكسويل - بولتزمان Maxwell - Boltzman Distribution.

وقدم بولتزمان للعلم كثيرا من الإسـهامات الأخرى، غير أن أعظم أعماله جاءت في مجال الميكانيـكا الإحصائية Statistical mechanics، حيث جماع خواص المـادة (بما في ذلك القانـون الثاني للديناميكا الحرارية) مسـتمدة في صورة الخواص المشـتركة للذرات والجزيئـات المكونة لها التزاما بقوانين بسـيطة للفيزياء (خاصة قوانين نيوتن) وعمل المصادفة غير الخاضع للإرادة الواعيـة. ونرى هذا الآن على أنه يعتمد بشـكل أساسـي على فكرة الذرات والجزيئات، وهذه هي النظرة السـائدة دائما في العالم المتحدث بالإنجليزية، حيث بلغت الميكانيكا الإحصائية ذروة ازدهارها بفضل جهود الأمريكي ويلارد غيبس (1839 - 1903) - ولعل هذا هو أول أمريكي (إذا عرفنا أن رامفورد اعتبر نفسـه بريطانيا) يقدم إسـهاما ذا شـأن مهم حقيقة للعلم. ولكن مع نهاية القرن التاسـع عشـر واجهت هذه الأفكار انتقادا قاسـيا داخل العالم المتحـدث بالألمانية، وجاء الانتقاد على أيدي الفلاسـفة المناهضين للمذهب الـذري Anti-atomist Philosophers، بـل وعلى أيدي علماء من مثل ويلهلم أسـتوالد (1853 - 1932)، الذي أصر (حتى في القرن العشـرين) على أن الذرات مفهوم افتراضي وليسـت أكثر من أداة إجرائية تساعدنا على وصف الخواص المشاهدة للعناصر الكيميائية. ونلحظ أن بولتزمان، الذي يعاني من حالة اكتئـاب، أصبح مقتنعا بأن أعماله لن تلقى ما تسـتحقه من الاعتراف بها. ونشـر في العام 1898 بحثا يعرض فيه تفصيلا حسـاباته، وهو يساوره أمـل عابر «بأنه إذا أعدنا إحياء نظرية الغازات فلـن يبقى الكثير لكي نعيد

اكتشـــافه». وســـرعان ما أقدم في العام 1900 على محاولة فاشلة للتخلص مـــن الحياة (وربما لم تكن المحاولة الفاشـــلة الوحيـــدة)، وهكذا يمكن النظر إلى هذا البحث وكأنه أشـــبه بمذكرة انتحار علمية. ويبدو أنه اســـتعاد نفسه ووعيـــه إلى حين وســـافر إلى الولايات المتحدة في العـــام 1904، حيث ألقى محاضرات في الملتقى العالمي World›s Fair في سانت لويس، كما زار الحرم الجامعي لكل من بيركلي وســـتانفورد في جامعة كاليفورنيا، حيث ساد تعليق على ســـلوكه الغريب يصفه بأنه مزيج من النشوة الهوسية والتظاهر الفاضح لأستاذ جامعي ألماني(*). ولكن تحسن حالته الذهنية (إن جاز لنا اعتبار هذا السلوك تحسنا) لم يدم طويلا، وشنق بولتزمان نفسه بينما كان يقضي إجازة عائلية في دوينو، قرب تريستا، يوم الخامس من سبتمبر 1906. ومن دواعي الســـخرية أن الدراسة التي من شأنها أن تقنع حتى أكثر الشكاكين مغالاة في حقيقة الذرات، من مثل أوســـتوالد، صـــدرت مطبوعة قبل هذا الحدث بعام، ومن دون أن يعرف بولتزمان.

ألبرت آينشتين

ثابت أفوغادرو، والحركة البراونية، ولماذا السماء زرقاء

مؤلف هذه الدراسة هو أشهر كاتب براءات اختراع في التاريخ، وهو ألبرت آينشتين. وسوف نوضح بإيجاز كيف عمل كاتب براءات اختراع؛ ولكن ما يعنينا هنا هو أن آينشـــتين في مطلع القرن العشـــرين كان عالما شابا نابها (إذ ناهز السادســـة والعشرين من العمر في العام 1905)، وعمل مستقلا عن المجتمع العلمي المألوف، واستحوذت عليه فكرة البرهنة على أن الذرات موجودة فعلا وحقيقـــة. وكتب عن ذلـــك فيما بعد في «مذكرات من ســـيرتي الذاتية»(**). أنـــه في تلك الفترة نذر اهتمامه للبحث عن دليل يؤكد قدر المســـتطاع وجود ذرات ذات حجم متناه محدد». وتم هذا البحث ضمن ســـياق محاولة آينشتين الحصـــول على درجة الدكتوراه، والتي أضحت مع مســـتهل القرن العشـــرين بمنزلـــة بطاقة عالم لحضور مأدبة، بمعنى الشـــرط الضروري لكل من عقد

(*) انظر Cercignani.

(**) يجدها القارئ متاحة في طبعة حررها وترجمها بي. إيه. ســـكليب ونشـــرتها دار نشر أوبين كورت، لاسال، إلينوي 1979.

أمــلا في أن يكّون صاحــب دور وفعالية في البحــث الجامعي. والمعروف أن آينشــتين تخرج فـــي EidgenÖssische Technische Hochschule (ETH)، أي المعهد الفدرالي السويســري للتكنولوجيا في زيــورخ العام 1900، وعلى الرغم من أنه أبلى بلاء حســنا في امتحانه النهائي، بيد أن توجهه لم يجعله محبوبا لدى أســاتذة المعهد (إذ إن أحد معلميه ويدعى هيرمان مينكوفسكي (1864 - 1909) وصف ألبرت الشــاب بأنه «كلب كســول» لم يشأ أن يعكر صفــو مزاجه بالرياضيات)، ولم يســتطع الحصول على وظيفة للعمل كواحد من مســاعديهم، كما لم يتســن له الحصول على تزكية منهم لشــغل منصب أكاديمي متواضع. وهكذا لم يكن أمامه إلا أنواع مختلفة من الوظائف قصيرة الأجل، والعمل بعض الوقت، وذلك قبل عمله كاتبا لبراءات الاختراع في بيرن في العام 1902. وأمضى وقتا طويلا عاكفا على العمل لدراســة المشــكلات العلميــة (ليس فقط في أوقات الفراغ، ولكن أيضا في مكان عمله، حيث كان يتعين عليه ملء اســتمارات براءات الاختراع)، ونشر عديدا من أوراق البحث فيما بين عامي 1900 و1905. ولكن كان مشــروعه الأهم هو الحصول على درجة الدكتوراه وإعادة فتح أبواب العمل الأكاديمي. لم يكن المعهد السويسري للتكنولوجيــا يمنح درجــات الدكتوراه، ولكن كان ثمة نظــام متفق عليه يمكن بمقتضاه لخريجي المعهد الفدرالي السويسري للتكنولوجيا أن يقدموا رسائل لنيل درجــة الدكتوراه إلى جامعة زيورخ إذا حــازت القبول. وهذا هو الدرب الذي ســلكه آينشتين وأجرى محاولة اســتباقية تناول فيها موضوعا، ثم قرر في النهاية ألا يتقدم به، بعد ذلك أصبح في العام 1905 على أهبة الاستعداد ببحث جاهز رأى أنه ســيكون مرضيا تماما لممتحنيه في زيورخ (*)، وهذا هو البحــث الأول من بين بحثين أثبت فيهما واقعية الذرات والجزيئات على نحو لا يدانيه أي شك.

والجديــر بالذكر أن العلمــاء الذين قبلوا فكرة الذرات ســبق أن صادفوا العديد من السبل الخشنة والجاهزة لتقدير أحجام هذه الجسيمات الصغيرة، مــا جعلهــم يعودون مباشــرة إلى جهود تومــاس يونغ (الذي ســنتحدث عنه أكثــر في الفصل الحادي عشــر) في العام 1816. حــدد يونغ طريقة لتقدير

(*) بعد ذلك كان يحلو لألبرت آينشــتين أن يحكي لمســتمعيه أن الممتحنين كان لديهم اعتراض واحد على الرسالة، وهو أنها قصيرة جدا. ويقول إنه إزاء هذا الاعتراض، أضاف جملة واحدة، وبذلك حازت القبول. وحري بنا أن نأخذ هذه القصة على أنها مزحة أو دعابة.

أحجام جزيئات الماء من خلال دراسة التوتر السطحي Surface tension لسائل ما - مرونة سطح كوب ماء بحيث يجعل في الإمكان (مع الحرص الشديد) «تعويم» إبرة صلبة على السطح. ويمكن تفسير التوتر السطحي بلغة الجزيئات، ذلك لأن جزيئات السائل يتجاذب بعضها إلى بعض - أو إن شئت فقل دبقة لصيقة. ونشعر في ضوء الحجم الكلي للسائل بأن الجذب متساو في كل الأنحاء، ولكن الجزيئات عند السطح ليس لها جيران فوقها لجذبها إلى أعلى، بينما عملية الجذب تجذب فقط إلى أحد الجانبين أو إلى أسفل، ولهذا تكون حبيسة قشرة لدنة على سطح السائل. وذهب يونغ في تفكيره إلى أن القوة الناتجة عن هذا التوتر ذات علاقة، بالضرورة، بنطاق ومدى قوة الجذب التي يمكن النظر إليها للوهلة الأولى بأن حجمها هو حجم الجزيئات. وتأسيسا على قياسات التوتر السطحي توصل في حساباته إلى أن حجم ما سماه «جسيمات الماء» لا بد أن يكون ما بين ألفين وعشرة آلاف جزء من مليون من البوصة، وهو ما يساوي ما بين 5 آلاف و25 ألف جزء من مليون من السنتيمتر، وهو ما يعتبر أكبر بعشرة أمثال التقديرات الحديثة. وثمة إنجاز مثير تحقق في السنة التالية بعد معركة ووترلو، ولكنه لم يكن دقيقا تماما أو مقنعا تماما ليقضي على شكوك الشكاكين.

تحققت خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر العديد من القياسات الدقيقة، ولكن يكفي أن نضرب مثلا بواحد منها. إذ في ستينيات القرن التاسع عشر استخدم الكيميائي النمساوي يوهان لوشميدت (*) تقنية بسيطة غاية البساطة من حيث المبدأ. أكد أن جميع جزيئات أي سائل تتماس مع جيرانها، بحيث لا توجد مساحات فراغ بينها، وأن حجم السائل يساوي حجم جميع الجزيئات مضافة إلى بعضها. ومن ثم فإن كمية السائل ذاتها حين تتبخر في صورة غاز، فإن حجم جميع الجزيئات يبقى ثابتا، ولكن توجد في هذه الحالة مساحة فراغ بينها. وأجرى حسابات على أساس متوسط المسار

(*) افتقد لوشميدت (1821-1895) الكيفية التي يصبح بها مشهورا أكثر مما كان. استطاع أن يتوصل بمفرده ومستقلا عن غيره إلى كثير من الأفكار المهمة عن بنية الجزيئات العضوية، ولكنه نشر هذا الإنتاج في نشرة واحدة فقط جرى تعميمها بين الخاصة في العام 1861، والتي صادفت إغفالا، ولم ينتبه إليها أحد عندما ذاع صيت كيكوليه لأفكاره المماثلة التي نشرها في منتصف ستينيات القرن التاسع عشر.

الحر في علاقته بضغط الغاز المحسـوب وثابت أفوغادرو، وتوافرت له بذلك طريقة مستـقلة لمعرفة كم المساحة الفعلية الفارغة في الغاز. ولكن الصعوبة التي شـابت هذه الطريقة في ستينيات القرن التاسع عشر تتمثل في تسييل غازات من نوع النيتروجين، وضرورة تقدير كثافات هذه السـوائل (حجم كتلة بعينها) بوسـائل مختلفة. ومع ذلك، اسـتطاع لوشميدت الجمع بين طريقتي الحسـاب، وتوصل إلى تقدير حجم الجزيئات في الهـواء (بضعة أجزاء من المليون من المليمتر وقيمة ثابت أفوغادرو، نحو 10^{35}x0.5 أو خمسة وأمامها 22 صفرا). وحدد عددا آخر مهما في دراسـة الغـازات ووثيق الصلة بثابت أفوغـادرو - عـدد الجزيئات في متر مكعب من الغـاز تحت ظروف معيارية لدرجة الحرارة والضغط. وهذا هو ما نعرفه اليوم بثابت لوشميدت، وتحدده القياسات الحديثة بما يلي:

$$10^{35}\text{x}2.686763$$

بيـد أن الطريقـة التي تناول بها آينشـتين مشـكلة تحديد أحجام الجزيئات في رسـالته لم تسـتخدم الغازات، وإنما المحاليل - خصوصا محلول السـكر في الماء. واسـتخدم كذلـك فهم الديناميـكا الحرارية المسـتحدث خلال النصف الثاني من القرن التاسـع عشر. وقد نخالها واقعة مثيرة للدهشة أول الأمر بيد أنها حقيقة، وهو أن جزيئات المحلول في سـلوكها تشـبه بل تكاد تطابق من نواح كثيرة سلوك جزيئات الغاز. وتشـتمل الطريقة التي استخدمها آينشتين هنا على ظاهرة تعرف باسم «الأسموزية»، أو التناضح الغشائي Osmosis. ولنتخيل حاوية تمتلئ ماء إلى النصف ويقسـمها حاجز به ثقوب تكاد تكفي لنفاذ جزيئات الماء من خلالها، نلحظ في المعدل العام أن عدد الجزيئات هو الذي سـينفذ عبر الحاجز في كل اتجاه في الثانية الواحدة، وأن مستوى السائل في نصفي الوعاء سـيظل ثابتا. ونظـرا إلى أن جزيئات السـكر أكبر من جزيئات الماء، فإنها لن تنفذ عبر الغشاء شبه النفاذ وفق ما يسمى الحاجز. ترى ما الذي يحدث لمسـتوى السـائل على كل من جانبي الحاجز؟ نلحظ أن الأغلبية العظمى من الناس حين التقوا هذه المشكلة لأول مرة ذهب ظنهم إلى أن وجود السكر يزيد الضغط على هذا الجانب من الحاجز، بحيث

يدفع مزيدا من جزيئات الماء عبر الغشاء، ويجعل المستوى يرتفع على الجانب من دون سكر. وحقيقة الأمر أن العكس هو الذي يحدث وفقا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية.

إن الصيغة البسيطة للقانون الثاني، والتي تفيد بأن الحرارة تفيض من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأكثر برودة، تعتبر مثالا نوعيا مميزا دالا على نزوع كل الفوارق الموجودة في الكون لكي تصل إلى المعدل العام (وهو السبب في بلى الأشياء). الحرارة تفيض من النجوم الساخنة إلى الفضاء البارد في محاولة لتعادل درجة حرارة الكون إجمالا. وإن منظومة بها نمط واضح (أو حتى نمط غامض) يسودها نظام أكثر ومن ثم أنتروبيا أقل من منظومة ليس بها نمط (لوحة شطرنج أبيض وأسود بها أنتروبيا أدنى مستوى من لوحة مماثلة مدهونة بظلال رمادية متماثلة). ولنا أن نعبر عن القانون الثاني بقولنا «تمقت الطبيعة الاختلاف». ومن ثم نجد في المثال الذي عرضناه توا أن الماء يتحرك عبر الغشاء إلى داخل المحلول بحيث يخفف من قوة محلول السكر، وبذا يجعله أقل اختلافا عن الماء الصافي الباقي في الجانب الآخر من الحاجز. ويرتفع عمليا مستوى السائل على جانب الحاجز الموجود به السكر، ويهبط على الجانب الموجود به ماء صاف. ويستمر الأمر على هذه الحال إلى أن يصبح الضغط الزائد الناتج عن اختلاف الارتفاع بين المحلول الموجود على جانب الحاجز وبين الماء على الجانب الآخر ضغطا كافيا لموازنة ضغط الماء الذي يحاول النفاذ عبر الغشاء (الضغط الأسموزي). معنى هذا أن الضغط الأسموزي يمكن ببساطة تحديده عن طريق قياس فارق الارتفاع حال استقرار المنظومة. ويتوقف الضغط الأسموزي ذاته على عدد جزيئات المذاب (وهو السكر في هذه الحالة) داخل المحلول، إذ كلما زاد تركز المحلول زاد الضغط. وتصل إلى حجم الجزيئات عند حساب الجزء من حجم المحلول الذي تشغله بالفعل تلك الجزيئات. وها هنا للمرة الثانية يرد في القصة متوسط المسار الحر للجزيئات، وذلك من خلال علاقته بسرعة انتشار الجزيئات عبر الغشاء. جمع آينشتين كل هذا معا، وأجرى عملية حسابية ضمن رسالته العلمية (التي صدرت مع تعديل طفيف في العام 1906) وأوضح أن ثابت أفوغادرو كان 10^{23}x2.1 وأن جزيئات الماء لا بد

أن تكون بضع مئات من المليون جزء من السنتيمتر من جانب إلى آخر. وجدير بالذكر أن الرسالة صدرت في صورة جديدة العام 1906 متضمنة معلومات جديدة هي حصاد تجارب أكثر دقة. ونراه هنا يصقل ويدقق صاعدا ثابت أفوغادرو ليرتفع ويصبح 4.15×10^{23} ثم أصبح العام 1911 6.6×10^{23}= - ولكن تجارب أخرى بعد هذا التاريخ منطلقة من بحث آخر مهم لالبرت آينشتين توصلت على نحو مؤكد إلى ثابت أفوغادرو بدقة كبيرة (*).

واكتمل وصدر في العام 1905 العمل الثاني الذي استهدف تقديم الدليل الذي يؤكد، قدر الاستطاعة، وجود ذرات ذات حجم محدد ومتناه. وزودنا هذا العمل بصورة فيزيائية على قدر رائع من البساطة لما يجري. وكان هذا أحد أسباب جعلها دليلا حاسما، بحيث أقنعت عمليا آخر الشكاكين ممن كانوا يشكون في واقعية الذرات. ولكن هذا العمل أدخل أيضا تقنيات إحصائية وضح أنها وثيقة الصلة بعمق بمجالات كثيرة في الفيزياء على مدى العقود التالية.

ويتناول هذا البحث الكلاسيكي الذي كتبه آينشتين الظاهرة المعروفة باسم الحركة البراونية - هذا على الرغم من أن آينشتين لم يكن يقصد بداية وصف الحركة البراونية، وإنما انطلق من المبادئ الأولية الأساسية (وهذا هو نهجه دائما عند تناول أي مشكلة) لبيان كيف أن الذرات والجزيئات يمكن أن تبدو لنا واضحة ما يكفي على مدى واضح للعيان. ورأى بعد ذلك أن ما وصفه يمكن أن يتطابق مع الظاهرة المعروفة. وأوضح موقفه في الفقرة الاستهلالية لبحثه إذ قال:

> سوف يتضح في هذا البحث وفقا للنظرية الحركية الجزيئية للحرارة أن الأجسام ذات الأحجام المرئية بالميكروسكوب والمعلقة في سوائل لا بد، نتيجة للحركات الجزيئية الحرارية، أن تؤدي حركات ذات حجم يمكن مشاهدته بسهولة بالميكروسكوب. وبالنسبة إلى الحركات التي نناقشها هنا، يمكن أن تكون مطابقة لما يسمى الحركة الجزيئية البراونية؛ ولكن البيانات المتاحة لي بالنسبة إلى هذا الجانب الأخير تتسم بعدم الدقة، ما يجعلني عاجزا عن تكوين حكم بشأن المسألة.

(*) ربما من المفيد أن نعود ونؤكد من جديد أن معرفة ثابت أفوغادرو، وكذا الأحجام النسبية لكتل مادة محددة في أشكالها السائلة أو الغازية، تعطي تلقائيا قياسا لحجم الجزيئات، ومن ثم فإننا حين نشير إلى قياسات ثابت أفوغادرو فإن هذا يعني أننا نصف قياسات لأحجام الجزيئات.

وجدير بالإشارة أن اسم الحركة البراونية مستمد من اسم عالم النبات الأسكوتلندي روبرت براون (1773 - 1858)، الذي لحظ الظاهرة في أثناء دارسته لحبوب اللقاح عبر ميكروسكوب في العام 1827. إذ لحظ أن هذه الحبوب (التي يبلغ قطرها أقل من نصف واحد على مائة من المليمتر) تتحرك هنا وهناك في شكل اندفاعات وتعرجات حال طفوها في الماء. بدا له أول الأمر أن هذا بسبب أن الحبوب حية وتسبح في الماء، ولكن سرعان ما بدا واضحا أن أي حبوب دقيقة من أي نوع معلقة في سائل (أو في الهواء) تتحرك بالطريقة نفسها، حتى وإن كانت الجسيمات (من مثل جسيمات الدخان السابحة في الهواء) ليست لها علاقة واضحة بالكائنات الحية. وفي ستينيات القرن التاسع عشر، وبعد أن ترسخ الفرض الذري، رأى عديدون أن الحركة يمكن أن تحدث بسبب تصادم الجزيئات مع الحبوب - ولكن الجزيء الواحد لكي يحدث «دفعة» أو «رفسة» يمكن قياسها لحبة من حبوب اللقاح لا بد وأن يمثل جزءا غير صغير من حجم الحبة وهو ما بدا أمرا يدعو إلى السخرية. في فترة تالية في القرن التاسع عشر اقترح وبشكل مستقل كل من عالم الفيزياء الفرنسي لوي - جورج غوي (1854 - 1926) ووليام رامزي (1852 - 1916) في إنجلترا أن أفضل طريقة لتفسير الحركة البراونية تكون على أساس إحصائي. إن جسيما معلقا في الماء أو الهواء إذا تعرض لقصف مستمر لعدد كبير من الجزيئات تأتيه من كل جانب فإن القوة المؤثرة تكون في المتوسط هي القوة نفسها من جميع الاتجاهات. ولكن يحدث مصادفة بين الحين والآخر أن تقصفه أعداد أكبر من الجزيئات من جانب من دون آخر، ما يجعل الحبة تندفع بعيدا من الجانب الذي به ضغط زائد. بيد أنهما لم يتابعا هذه الفكرة تفصيلا. ولكن آينشتين حين طور أفكاره المماثلة لتلك بطريقة إحصائية صحيحة لم يكن عن يقين تقريبا مدركا لهذه الآراء السابقة عليه (إذ اشتهر عن آينشتين أنه يصوغ الأفكار لنفسه تأسيسا على المبادئ الأولية من دون الاطلاع على خلفية الموضوع في الأدبيات المنشورة).

وطبيعي أن السبب في أن بحث آينشتين كان له هذا التأثير الكبير هو تحديدا دقته - إذ قدم عرضا رياضيا وإحصائيا دقيقا للمشكلة. وقد يذهب تفكير المرء إلى أنه بسبب أن الضغط الواقع على حبة اللقاح واحد من جميع

الجوانب فإنها سـوف تثبت بطريقة أو بأخرى في المكان نفسه وهي تهتز في موضعهـا، ولكن كل حركة اندفاعية هي عشـوائية، لذلك فإنه بعد أن تندفع الحبـة قليلا في اتجاه ما يكون هناك احتمال مسـاو لذلك تماما بأن تندفع ثانية في الاتجاه نفسه، أو ترتد إلى حيث كانت، أو تندفع في أي اتجاه آخر. والنتيجة أنها تتبع مسـارا متعرجا، بحيث إن المسـافة التي تقطعها من نقطة البداية (والتي تقاس على خط مسـتقيم على امتداد جميع التعرجات) تكون دائما متناسبة مع الجذر التربيعي للزمن الذي انقضى منذ الاندفاعة الأولى. ويصدق هذا أينما كانت نقطة بداية القياس (مع أي اندفاعة نعتبرها الأولى). وتعرف هذه العملية الآن باسـم «المسيرة العشوائية» Random Walk. وتأكد بعد ذلك أن الإحصاءات التي تعتمد عليها (التي صاغها آينشـتين) ذات شأن مهم على نحو ما نرى كمثال في وصف تحلل العناصر المشعة.

وضع آينشـتين أرقام العملية الحسابية، وصاغ تنبؤا محددا مؤسسا على «النظرية الحركية الجزيئية»، وهو التنبؤ الذي يمكن اختباره بالملاحظة إذا ما تهيأ لنا اختصاصي الميكروسـكوب المؤهل لوظيفة ملاحظة الحركة البراونية فـي تفصيلاتهـا كلها. وتوصل آينشـتين إلى معادلة ربطت ثابـت أفوغادرو بسـرعة حركة الجزيئات والمعدل القابل للقياس لحيود الجسيمات عن نقطة بدايتها من خلال الحركـة البراونية. وحدد قيمة ثابت أفوغادرو بـ 10^{23}x6 (ليس بشكل تعسفي، بل تأسيسا على عمل آخر سبق أن أنجزه العام 1905، والذي سـنعرض له فيما بعد) (*) بالنسـبة إلى الجسيم وهو واحد على ألف من المليمتر من جانب إلى آخر، ومعلق في ماء درجة حرارتها 17 مئوية. وتنبأ بحـدوث حيود قدره سـتة أجزاء من ألف من المليمتر فـي الدقيقة الواحدة (سـوف يتحرك الجسـم مرتين خلال أربع دقائق وأربعة أضعاف في سـتة عشـرة دقيقة هكذا). وتصدى الفرنسي جين بيرا (1870 - 1942) للتحدي المتمثل في قياس مثل هذا الحيود البطيء وصولا إلى التقدير الدقيق. ونشر نتائج جهوده خلال السـنوات الأخيرة من العقد الأول للقرن العشـرين، مما حفز آينشـتين لكي يكتب إليه يقول: «خيل لي أن من المستحيل بحث الحركة البراونية بمثل هذه الدقة البالغة؛ يا لها من ضربة حظ مواتية لهذا الموضوع

(*) القيمة الحديثة لعدد أفوغادرو (ويسـمى أيضا ثابت أفوغـادرو Avogadro Constant) هي 10^{23}x6.022.

أن تصديت أنت له». وهذا كله إشارة دالة على مدى أهمية هذا البرهان ليؤكد حقيقة الذرات والجزيئات خلال هذه الفترة، حتى أنه في العام 1926 حصل بيرا على جائزة نوبل لعمله هذا.

ولم يكن آينشتين قد فرغ بعد من بحثه عن برهان يؤكد وجود الذرات والتحقق من ثابت أفوغادرو. وكتب في أكتوبر العام 1910 بحثا يفسر فيه كيف يحدث لون السماء الأزرق كنتيجة لتشتت الضوء بفعل جزيئات الغاز في الهواء ذاته. ويتشتت الضوء الأزرق بهذه الطريقة بسهولة أكثر من الضوء الأحمر أو الأصفر، وهذا هو السبب في أن الضوء الأزرق الصادر عن الشمس يأتي إلينا من كل الاتجاهات في السماء (إذ يقفز من جزيء إلى جزيء على امتداد السماء)، بينما الضوء الآتي من الشمس مباشرة برتقالي. وجدير بالذكر أن جون تندال ناقش في فترة سابقة في العام 1869 هذا التشتت للضوء، ولكن على أساس تأثير جسيمات الغبار في الهواء على الضوء - إذ إن هذا التشتت بفعل الغبار الذي يجرد ضوء الشمس من كثير من اللون الأزرق، هو السبب في أن الشمس تبدو لنا أكثر احمرارا عند الشروق وعند الغروب. وذهب علماء آخرون، وكانوا على صواب، إلى أن جزيئات الهواء، وليس الغبار المعلق في الهواء، هي السبب في أن السماء تبدو لنا زرقاء؛ ولكن آينشتين هو الذي حسم المسألة بالأرقام والحساب مستخدما زرقة السماء لحساب ثابت أفوغادرو بأسلوب آخر، وقدم في الوقت نفسه دليلا داعما، على افتراض أن لا يزال الوضع بحاجة إلى دعم جديد، في العام 1910، ليؤكد حقيقة وواقعية الذرات والجزيئات.

ولكن على الرغم من جاذبية وسحر هذا العمل، إلا أنه يتضاءل كثيرا إزاء العمل الذي هو أفضل ما نتذكر به آينشتين، والذي يعالج أيضا موضوع الضوء ولكن بأسلوب أعمق من حيث الأسس والجذور. ونحن لكي نضع النظرية النسبية الخاصة في سياقها، يلزمنا أن نعود إلى الماضي، ونرى كيف تطور في القرن التاسع عشر أسلوب فهم طبيعة الضوء، وكيف قاد هذا آينشتين إلى إدراك أهمية الحاجة إلى إدخال تعديل على أكثر مبادئ العلم تقديسا، وهي قوانين الحركة عند نيوتن.

11

لنسمح بالضوء

«يمثل موضوع ثبات سرعة الضوء حجر الأساس في نظرية النسبية الخاصة بآينشتين، المنشورة في العام 1905»

المؤلف

حتى نهاية القرن الثامن عشر كان مفهوم نيوتن عن الضوء، باعتباره سيالا من جسيمات، هو المفهوم المهيمن دون النموذج المنافس الذي يرى الضوء موجات، ويرجع ذلك إلى نفوذ نيوتن بقامته الشامخة واعتباره رسول العناية العلمية، بقدر ما يرجع إلى افتقاد أي برهان يؤكد أن نظرية الجسيم هي الأفضل حقيقة من النموذج الموجي. ولكن على مدى القرنين التاليين، أو نحو ذلك، تم استحداث فهم جديد للضوء، والذي بيَّن أولا وقبل كل شيء أن نيوتن ليس معصوما من الخطأ في كل ما قال، وهكذا وصل الأمر في مطلع القرن العشرين إلى أنه حتى قوانين الحركة عند نيوتن ليست هي الكلمة الفصل في الميكانيكا. وواقع الأمر

أن نفـوذ نيوتن أعاق التقدم من هذه الزاوية، حتى يمكن القول، وباستثناء جهود هايغنز الذي أسلفنا ذكره، إنه منذ نهاية القرن الثامن عشر توافرت بيانات كثيرة تعتمد على المشاهدة، فكان في وسعها، لو أننا التزمنا بها مع التحلي بقدر أكبر من الحماسة لها، أن تؤدي بنا إلى تثبيت دعائم النموذج الموجي قبل عقدين من تاريخ ما حدث في الواقع. لقد توافر في الحقيقة ما يرقى إلى مستوى البرهان على أن الضوء ينتقل على هيئة موجة حتى قبل أن يظهر نيوتن على المسرح، على الرغم من عدم إدراك أهمية ذلك الرأي على نطاق واسع. وهذا هو ما تحقق على يدي عالم الفيزياء الإيطالي فرنسيسكو غريمالدي (1618 - 1663)، الذي كان يشغل منصب أستاذ الرياضيات في الكلية اليسوعية في بولونيا، ودرس، مثلما درس بعد ذلك نيوتن الضوء، بأن جعل شعاعا من ضوء الشمس ينفذ إلى داخل غرفة معتمة عبر ثقب صغير. واكتشف أن الشعاع حين نفذ عبر ثقب ثان صغير وسقط على شاشة فإن الصورة التي ارتسمت على الشاشة بفعل بقعة الضوء كانت لها حواف ملونة، وبدت أكبر على نحو طفيف مما لو أن الضوء انتقل عبر خطوط مستقيمة عند نفاذه من الثقب. واستنتج (عن صواب) أن الضوء انحنى قليلا تجاه الخارج عند نفاذه عبر الثقب، وأطلق على هذه الظاهرة اسم «حيود الضوء». ووجد أيضا أنه عند وضع جسم صغير (مثل حافة سكين) في شعاع الضوء، فإن الجسم يلقي ظلا ذا حواف ملونة حيث انكسر الضوء حول حافة الجسم وانسرب في الظلال(*). واعتبر هذا دليلا مباشرا على أن الضوء ينتقل على هيئة موجة، ويمكن أن نشاهد مثل هذه الظاهرة تماما عندما تتحرك موجات البحر أو الموجات على سطح بحيرة عبر عوائق أو فجوات داخل عوائق تعترضها. ولكن عندما يتعلق الأمر بالضوء، فإنه وبسبب أن أطوال الموجات صغيرة جدا، تكون الآثار الناجمة دقيقة للغاية، ولا يمكن تسجيلها إلا بعملية قياس غاية في الدقة والحرص. ولم يتسن نشر أعمال غريمالدي إلا بعد وفاته بسنتين، وقد صدرت في كتاب بعنوان «Physico-mathesis de Lumino, Coloribus, et iride»، ولم يكن موجودا ليطور أو ليدافع عن أفكاره. وربما كان القليلون ممن انتبهوا إلى الكتاب وقتذاك عاجزين (أو

(*) الحواف الملونة مثلها مثل قوس قزح، لأن أطوال موجات الضوء المختلفة تنحني بنسب مختلفة؛ وتتطابق أطوال الموجات المختلفة مع الألوان المختلفة، إذ لكل لون موجة مختلفة الطول.

عازفـين) عن إجّراء وتنفيذ التجارب الدقيقة اللازمة لتأكيد النتائج. وجدير بالذكر هنا أن قارئا واحدا لهذا الكتاب هو الذي كان في وسعه على الأرجح أن يتحقق من أهميته، وهذا القارئ هو نيوتن نفســه، الذي كان في الحادية والعشــرين من عمره وقتما توفي غريمالدي، ولكــن يبدو أنه لم يعرف قدر وقيمــة قوة براهين غريمالدي التي تؤكد أنه لا انعكاس الضوء ولا انكســاره يمكن أن يفسرا الظواهر المشاهدة. ويا لها من حسرة تثير الألم، ولكن ما من أسف بعد فوات الأوان، حين نتأمل إلى أي مدى كان يمكن للعلم أن يتقدم لو أن نيوتن تحول بفضل كتاب غريمالدي إلى النموذج الموجي.

إحياء النموذج الموجي للضوء

بعــد وفاة نيوتــن في العــام 1727، وعلى الرغم مــن أن النموذج الجســيمي للضوء هو الذي كانت له الســيادة على التفكير بقية القرن الثامن عشــر، كان هنــاك من الباحثين من يرون الــرأي البديل، ولعل أبرزهم عالم الرياضيات السويســري ليونارد أويلر الذي أسلفنا ذكره. ونحن نتذكر أويلر عادة لجهوده في الرياضيات البحتة، حيث استحدث فكرة مبدأ الجهــد الأقــل Principle of least action (الذي يفيد ما معنــاه بأن الطبيعة كســولة؛ وأحد مظاهر ذلــك أن الضوء ينتقل عبر خطــوط مســتقيمة، أي أقصر الطــرق). وحدد هــذا الطريق لجهود جوزيف لاغرانج (1736 - 1813)، الذي وضع بدوره الأساس لتقديم وصف رياضي لعالم الكم Quantum World في القرن العشرين. وأدخل أويلر، كما ذكرنا رموزا رياضية مســتحدثة من مثل i، e، II وهو أيضا المثل الأول والنموذجي لأخطار النظر المباشــر بالعينين إلى الشــمس. إذ إنه في العام 1733، وهو أســتاذ للرياضيات في سانت بطرسبرج، تصرف تصرفا أحمق كلفه فقدان بصر عينه اليمنى. وكان ســوء حظه مضاعفا، نظرا إلى أنه في أواخر ســتينيات القرن الثامن عشــر كف بصر عينه اليســرى بســبب إصابتها بداء المياه البيضاء «الكاتاراكت»، بيــد أن أيا من هذين الحدثين لــم يؤد إلى الحد من إنتاجه الغزير في مجال الرياضيات.

ونشر أويلر في العام 1746 نموذجه الموجي وقتما كان يعمل في أكاديمية العلوم الكبرى في برلين (ودعته كاترين العظمى بعد ذلك للعودة إلى سانت بطرسبرج، حيث عاش إلى أن وافته المنية). وجدير بالذكر أن القدر الأعظم من قوة حجة أويلر تكمن في أسلوبه الحريص الحذر في تنظيم جميع المشكلات المتعلقة بالنموذج الجسيمي Corpuscular model، بما في ذلك مشكلة تفسير الحيود بالطريقة نفسها، علاوة على الوصول إلى دليل يدعم النموذج الموجي. وأجرى تحديدا مناظرة بين موجات الضوء وموجات الصوت. وقال في رسالة له مكتوبة في ستينيات القرن السابع عشر إن ضوء الشمس «هو للأثير مثل الصوت بالنسبة إلى الهواء»، ووصف الشمس بأنها مثل «ناقوس رنينه الضوء» (*)، ولكن المناظرة وإن بدت هنا في صيغة بيانية، بيد أنها قاصرة، وتكشف لنا الآن كيف أن النموذج الموجي كان لا يزال أمامه طريق طويل يتعين عليه أن يقطعه في منتصف القرن الثامن عشر، ومن ثم ليس لنا أن ندهش حقيقة من أن عالم الفيزياء لم يكن متحمسا لتغيير نظرته إلى طبيعة الضوء، وكان لزاما أن ينتظر إلى حين تحسن تقنيات التجارب في القرن التاسع عشر ليضع الأمر على نحو لا يدانيه أي شك. ولكن أول من أعطى دفعة مهمة في اتجاه تغيير الرأي كان لايزال في العاشرة من عمره وقتما توفي أويلر في العام 1773.

توماس يونغ وتجربة الشق المزدوج

ولد توماس يونغ في 13 يونيو 1773، ببلدة ميلفيرتون في سومرسيت، وتميز بطفولة عبقرية، حيث قرأ الإنجليزية وهو في الثانية من العمر واللاتينية بعدما ناهز السادسة، ثم سرعان ما انتقل إلى اليونانية والفرنسية والإيطالية والعبرية والكلدانية والسريانية والسومرية والعربية والفارسية والتركية والإثيوبية، كل ذلك وهو في الثالثة عشرة من عمره. وهو سليل أسرة ثرية (ابن مصرفي)، فقد توافرت ليونغ حرية عمل ما يحلو له، وتلقى قسطا قليلا من التعليم الرسمي في طفولته، وكذا وهو في العقد الثاني من العمر، وبدا واضحا في الحقيقة أنه لم يكن

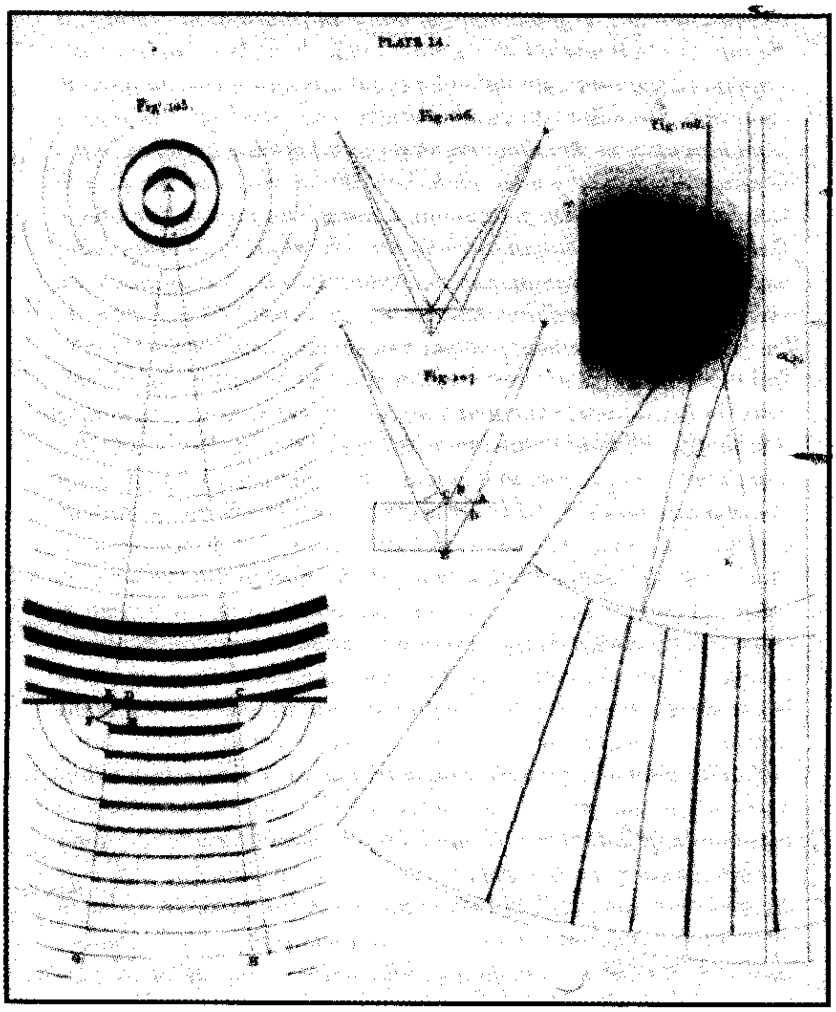
(*) الاقتباس عن زاجونك Zajonc.

في حاجة إليه، إذ اعتاد الدراسة بتوسع بطريقته ووفق رغبته، وأبدى اهتماما منذ باكر حياته (وعلى نحو ما تفيد قائمة اللغات) بالتاريخ القديم وآثار الشرق الأوسط. ولكنه اهتم أيضا بتعلم الفيزياء والكيمياء والكثير إلى جانب ذلك. وتأثر وهو في التاسعة عشرة من عمره بعمه العظيم ريتشارد بروكليسبي (1722 - 1797)، وهو طبيب متميز. وشرع يونغ في التدرّب على مهنة الطب أملا في أن يشارك العم في ممارسته للطب في لندن (ثم يستقل في الوقت المناسب). ودرس في لندن وفي إدنبره وفي غوتنغن، حيث حصل على درجة الطب في العام 1796، وقام بجولة في ألمانيا امتدت عدة شهور قبل أن يستقر فترة من الوقت في كيمبريدج (وقد توفي عمه العظيم قبيل ذلك توا). وفي ذلك الوقت، سبق أن ذاع صيته داخل الأوساط العلمية بعد أن فسر آلية ضبط بؤرة العين (الطريقة التي تغير بها العضلات شكل عدسة العين) وهو لايزال في عامه الأول كطالب طب، وانتخبته الجمعية الملكية زميلا بها وهو في الحادية والعشرين من العمر نتيجة لذلك الاكتشاف. وخلال العامين اللذين قضاهما في كيمبريدج، حيث استقر في إيمانويل كوليج، أصبحت كنيته يونغ «الظاهرة»، وذلك لقدراته المتميزة وتعدد مواهبه. وجدير بالإشارة أن ريتشارد بروكليسبي ترك ليونغ بيته في لندن، كما ترك له ثروة، وفي العام 1800 عاد الفتى وهو لايزال في السابعة والعشرين إلى لندن ليمارس الطب. وعلى الرغم من حفاظه على دوره النشط في مجال الطب طوال بقية حياته، حتى أصبح طبيبا في مستشفى سان جورج من العام 1811 حتى وافته المنية (في 10 مايو 1829)، فإن هذا لم يمنعه من مواصلة إسهاماته المهمة على نطاق واسع للعلم. ولكن هذا كله لم يحل دون شائبة بسيطة شابت حياته، وهو أنه من العام 1801 وحتى 1803 قدم محاضرات في المعهد الملكي، غير أنها لم تصادف نجاحا، إذ لم تحز على رضا غالبية الحضور.

ونجد من بين اهتمامات يونغ الكثيرة أنه استطاع أن يقدم تفسيرا صحيحا لحالة علة حرج البصر «astigmatism»، وأنها نتيجة انحناء غير متماثل لقرنية العين، وكان هو أول شخص يوضح أن إبصار اللون يحدث

نتيجـــة الجمع بين ثلاثة ألوان أولية (الأحمر والأخضر والأزرق)، مما يؤثر في المستقبلات المختلفة للعين (واستطاع بذلك أن يفسر عمى الألوان بأنه نتيجة فشل واحد أو أكثر من هذه المستقبلات)، واستطاع أن يقدر أحجام الجزيئات (كما شـــاهدنا في الفصل الســـابق)، وقام بـــدور وزير خارجية القصر، كما كان له دور مهم في سبيل فك طلاسم حجر رشيد، وإن لم يلق اعترافا بدوره واســـتحقاقه في هذا المجال، لأن الجهد تم نشره بدون ذكر أســـماء في العام 1819. ولكن ما يعنينا هنا هو الإنجاز الذي يمثل أفضل شيء نذكره ليونغ، وأعني به تجاربه عن الضوء التي برهنت على أن الضوء ينتقل كموجة.

بـــدأ يونغ عمـــل تجارب على ظاهـــرة التداخل في الضـــوء بينما كان في كيمبريدج مع نهاية تســـعينيات القرن الثامن عشـــر. ونجده في العام 1800، فـــي دراســـته المعنونة «مخطـــط أولي لتجارب وتســـاؤلات تتعلق بالصوت والضوء»، يقارن ويمايز بين النموذجين المنافســـين لكل من نيوتن وهايغنـــز، وخلص إلى دعم النموذج الموجي الـــذي قال به هايغنز. وذهب إلى أن ألوان الضوء المختلفة تتطابق مع موجاتها المختلفة. وطرح في العام 1801 إسهامه الرئيسي ليكون موضوعا لحوار، وهو فكرة تداخل موجات الضـــوء، وأوضـــح أنها تماثل تمامـــا طريقة تداخل الموجات على ســـطح البحيـــرة بعضها مع بعض (مثال ذلك أن نلقي قطعتي حجر صغيرتين في ســـطح بركة ســـاكنة في وقت واحد ولكن في مكانين مختلفين) إذ يتولد عـــن ذلك نموذج معقد من الموجات الصغيـــرة. وأوضح يونغ أولا كيف أن الظواهـــر التي لاحظها نيوتن نفســـه، من مثل الحلقـــات عند نيوتن، كان في الإمكان تفســـيرها على أســـاس التداخل، واستخدم معطيات تجارب نيوتـــن ذاتها لحســـاب طول موجة الضوء الأحمر وهـــو 6.5×10^{-7} متر (وفق الوحدات الحديثة) وطول موجة الضوء البنفسجي 4.4×10^{-7} متر وتتفق هذه الأرقام كثيرا مع القياسات الحديثة، والتي توضح إلى أي مدى كان نيوتن باحثا تجريبيا جيدا وإلى أي مدى كان يونغ باحثا منظرا جيدا. واســـتطرد يونغ ليضع تصورا ثم لينجز التجربة التي تحمل اســـمه، وهي تجربة الشق المزدوج ليونغ.



32 - رسوم يونغ توضح كيف تنتشر موجات الضوء عن دراسة يونغ بعنوان «برنامج محاضرات عن الفلسفة الطبيعية والفنون الميكانيكية»، 1807

يمر الضوء (على فرض أنه مثاليا ضوء خالص - أي طول موجة منفردة - وإن لم يكن هذا ضروريا ضرورة مطلقة) في تجربة الشق المزدوج عبر شق ضيق لقطعة ورق مقوى («ضيق» هنا تعني أن يكون الشق باتساع طول موجة الضوء، أي تقريبا واحد على مليون من المتر، ولهذا من الملائم أن نصنع الشق بحد موسي). ينتشر الضوء بعد نفاذه من الشق ويسقط على قطعة ورق مقوى أخرى يوجد بها شقان متوازيان متماثلان. وينتشر الضوء من هذين الشقين عند خروجه ليسقط على شاشة ليصنع نمطا من ضوء وظل، نسميه «نمط التداخل»، وفسر يونغ ذلك بقوله: يوجد ضوء حيث الموجتان الواصلتان من كل من الشقين تسيران في تناغم ومن ثم تنضم ذروة الموجتين إلى بعضهما؛

ونجـد ظلمة عندما لا تكـون الموجتان متناغمتين حال نفاذهما من الشـقين (أي حـين تكونان غير متزامنتين) ولذلك فـإن الفراغ أو الفاصل في إحدى الموجتين يزيل قمة الموجة الأخرى.وتلحظ هنا أن المسافة الفاصلة المضبوطة للنمط، والتي تشـاهدها على الشاشة تتوقف على طول موجة الضوء، والذي يمكن حسـابه عن طريق المسافات الفاصلة للخطوط المرسومة على الشاشة. وليس ثمة طريقة أخرى على الإطلاق لتفسير هذه الظاهرة عن طريق معاملة الضوء على أنه سيال من قذائف دقيقة لمدفع تئز عبر الفضاء. أتم يونغ هذا العمل نحو العام 1804، ثم كتب في العام 1807 يقول:

> «منتصـف «النمـط»يكـون دائما ضـوءا، وتفصل بين الخطوط السـاطعة من اجانبين هذه المسـافات المحددة، بحيث إن الضوء السـاقط عليها من أحد الثقبين لا بد أنه مر عبر مسـاحة أكبـر من الضوء الآتي مـن الثقب الآخر بفاصل يسـاوي عرض واحد أو اثنـين أو ثلاثة أو أكثر من التموجات المفترضة، هذا بينما المسـاحات المعتمة الواقعة بينها تتطابـق مع فارق الصف لموجـة مفترضة، أو واحد ونصف، أو اثنين ونصف، أو أكثر (*).

وبعد عشر سنوات صقل يونغ نموذجه أكثر بأن رأى أن موجات الضوء ناتجـة عن «تموج» مسـتعرض ينحرك من جانب إلـى آخر، وليس تموجا طوليـا (دفع - جذب) مثل موجات الصوت. ولكن جهود يونغ في دراسـة الضوء لم تقنع أقرانه، بـل إن زملاءه علماء الفيزياء في بريطانيا ازدادوا صـدا له وأسـاءوا إليه، وأغضبهم القول إن أيا ممـا قاله نيوتن يمكن أن يوصف بأنه خطأ، وسـخروا من فكرة أن في الإمكان صنع ظلمة بإضافة شـعاعي ضوء أحدهما إلى الآخـر. ولم يجد يونغ في ذلك سـببا لمعاناة كبيرة، ذلك لأن لديه في جعبته مشروعات كثيرة ومتعددة، خاصة أن تقدم العلـم لم يتوقف، ذلك لأن برهانا آخر مماثلا يدعم النموذج الموجي صدر على الفور (وربما نقول في الوقت الملائم تماما) على أراضي أشد خصوم بريطانيا عداء، أعني في فرنسا.

(*) الاقتباس من دراسة ليونغ «برنامج محاضرات عن الفلسفة الطبيعية والفنون الميكانيكية» - والاقتباس مأخوذ عن بايرلين.

ولد أوغستين فريسنل في 15 مايو العام 1788، في بروجلي في نورماندي. وهو ابن مهندس معماري انسحب إلى إقطاعيته الريفية قرب كون هربا من اضطرابات الثورة الفرنسية (تحت مظلة عائلة هيريسي وجورج كوفيير)، تلقى تعليمه في البيت إلى أن بلغ الثانية عشرة من العمر. ودرس بعد ذلك في الإيكول سنترال في كون قبل الانتقال إلى باريس العام 1804 لدراسة الهندسة، وتأهل العام 1809 مهندسا معماريا ليعمل لدى الحكومة في مشروعات الطرق في أنحاء مختلفة في فرنسا، وعمل في الوقت نفسه على تطوير اهتمامه بالبصريات، علاوة على عمله اليومي. ولكن حيث إن فريسنل كان خارج إطار العلماء الأكاديميين في باريس، فإنه على ما يبدو لم يعرف شيئا عن جهود يونغ؛ ولعل ما يثير الدهشة أكثر أنه على ما يبدو أيضا لم يكن يعرف شيئا عن جهود هايغنز وأويلر، معنى هذا فعليا أنه استحدث نموذجه الموجي عن الضوء من ألفه إلى يائه مستقلا تماما، وسنحت الفرصة أمام فريسنل لتطوير ذلك النموذج بشكل جزئي عن طريق السياسة. إذ على الرغم من أنه كان يعمل موظفا حكوميا في ظل الحكم النابليوني، من دون إثارة ما ينم عن أن له توجهات أخرى بيد أنه بعد هزيمة نابليون على أيدي الحلفاء ونفيه في إلبا، فإن يونغ شأن كثيرين من معاصريه كشف عن نفسه بما أكد أنه ملكي النزعة. ولكن عندما عاد نابليون بعد فترة وجيزة لمدة مائة يوم في العام 1815، كان أمام فريسنل أحد أمرين إما أن يُعزل من منصبه أو أن يتركه اختيارا تعبيرا عن احتجاجه (الحسابات متصارعة)، وأعادته السلطات إلى بلدته في نورماندي تحت الإقامة الجبرية في بيته. وهناك فقط توافر له الوقت الكافي لتطوير أفكاره قبل الإطاحة نهائيا بنابليون، واستطاع فريسنل العودة إلى عمله مهندسا لتحتل البصريات مرتبة ثانية كما كانت في السابق مجرد هواية.

واعتمد أيضا نهج فريسنل في دراسة النموذج الموجي للضوء على الحيود، ولكنه استخدم شقا واحدا ضيقا ليسقط منه ضوء على شاشة. وإذا كان الشق ضيقا بما يكفي فإن هذا سيؤدي إلى ظهور نمط الضوء والظل المخطط المميز له على الشاشة. وإن أبسط طريقة، تحاشيا للدخول في تفاصيل لتصور كيف يحدث هذا، لنا أن نتخيل ضوءا ينحني حول

أي من جانبي الشــق في انحناءة طفيفة، وينتشر خارجا من كلا الطرفين لينتقل إلى الشاشة عبر مســارين بينهما فارق طفيف، وكل منهما يتطابق مع عدد مختلف من الموجات الضوئية، ولكن في وســعنا قلب هذه التجربة بأن نضع عائقا صغيرا (مثل إبرة) يعترض مسار شعاع الضوء. هنا ينحني الضوء حــول العائق (مثلما تنحني الأمواج في البحر حول صخرة تعترض الماء) وينتج عن هذا نمط حيود في ظل العائق.

ويبــين لنــا إلى أي حد لم تلــق جهود يونغ ما تســتحقه من تقدير حين نعرف أن الأكاديمية الفرنســية في العام 1817، علــى الرغم من معرفتها بهذا الجهــد فإنها أعلنت عن جائزة لأي باحث في وســعه أن يقدم أفضل دراســة تجريبية عــن حيود الضوء داعمــا إياها بنموذج نظري يفســر ما يجري. وأســفرت المناقشة عن مشــاركتين اثنتين، الأولى هراء واضح حتى أن الأكاديمية لم تشأ الاحتفاظ بتسجيل لاسم صاحبها، فضلا عن تفاصيل المساهمة نفســها. والمشاركة الثانية من فريســنل، وجاءت في صورة ورقة بحــث مؤلفة من 135 صفحة. ولكنها واجهت عقبة كبرى كان يتعين التغلب عليها، وهي أنها تمثل بطبيعة الحال النموذج الموجي، بينما المحكمون الثلاث للمناقشــة هم عالم الرياضيات سيمون - دنيس بواسو (1781 - 1840)، وعالم الطبيعيات جين بابتيســت بيو (1774 - 1862)، وعالم الرياضيات والفلكي بيير سيمون لابلاس، وكانوا جميعا نيوتونيين حتى النخاع بما يعني أنهم يفضلون النموذج الجسيمي. وتركزت جهودهم على محاولة الكشف عن أي عيب يشوب نموذج فريســنل، وظن بواسو، عالم الرياضيات الكبير، أنه عثر على عيب. وانتهى في حســاباته إلى أنه وفقا لنموذج فريســنل الموجي للضوء، إذا وضعنا جســما صغيرا دائريا (مثل كرة رصاص) ليعترض شعاع الضوء فإن الضوء المنحني حول الجسم سيؤدي إلى حدوث بقعة ضوئية تقع بالضبط خلف مركز الجســم، حيث يقضي الحس العام بأن هذا هو المكان الــذي ينبغي أن يكــون فيه الظل الأكثر عتامة. وبدا له هذا ضربا من خطل الرأي، شأنه شأن خصوم يونغ البريطانيين الذين ناصبوا يونغ العداء بسبب فكرة أن إضافة شــعاعي ضوء معا يســببان حدوث منطقة معتمة. بيد أن الحسابات بدت واضحة لا لبس فيها. وعبر عن هذا بواسو نفسه إذ قال:

لنسقط ضوءا موازيا على قرص غير شفاف، بينما ما حوله شفاف. طبيعي أن يلقي القرص ظلا، بينما مركز الظل ذاته يظل ساطعا. ونلحظ بإيجاز أن لا وجود للعتمة في أي مكان على امتداد الخط العامودي المركزي خلف القرص غير الشفاف (فيما عدا خلف القرص مباشرة)، وتتزايد في الحقيقة الشدة باطراد ابتداء من صفر خلف القرص الرقيق مباشرة. ولكن على بعد مسافة من خلف القرص تساوي قطر القرص تكون درجة الشدة 80 في المائة من درجة الشدة المتوافرة حال عدم وجود القرص. وتتزايد الشدة بعد ذلك ببطء أكثر لتقارب 100 في المائة مما يمكن أن تكون عليه لو لم يكن القرص موجودا(*).

هذا هو ما تنبأ به نموذج فريسنل، ولكنه بدا باطلا في نظر القضاة المحكمين. وحيث إنهم علماء بالمعنى الصحيح للكلمة، وملتزمون بأفضل ما في التقليد النيوتوني، قرروا هم ورئيس اللجنة العمل على إجراء فحص دقيق للمناقشة، وعمل عالم الفيزياء فرانسوا أراغو (1786 - 1853) على إجراء تجربة للتثبت من صحة أو خطأ التنبؤ. وجاءت البقعة الساطعة التي تنبأ بها بواسو في مكانها بالضبط، حيث تنبأ فريسنل مع استخدام بواسو لنموذج فريسنل. وفي مارس 1819 كتب أراغو تقريرا إلى مجلس أكاديمية العلوم قال فيه:

> إن أحد مفوضيكم، وهو بواسو، استنتج من الأوراق التي ضمنها المؤلف (فريسنل) تقريره النتيجة الوحيدة وهي أن مركز ظل شاشة دائرية معتمة لا بد أن يكون... مضيئا وكأن الشاشة غير موجودة. أخضعنا النتيجة للاختبار من خلال تجربة مباشرة وأكدت الملاحظة تماما صدق الحساب.

تلحظ هنا أن المنهج العلمي ذاته الذي جعله نيوتن أساسا لبحث العالم، وهو اختبار التجربة المباشرة، أثبت أن نيوتن أخطأ، وأن الضوء ينتقل على هيئة موجة. وأصبح لزاما منذ تلك اللحظة الارتقاء بالنموذج الموجي للضوء

(*) انظر بايرلين. والاقتباس الثاني من المصدر نفسه.

من مستوى الفرض إلى النظرية. تأكدت شهرة فريسنل، وعلى الرغم من أنه عالم نصف الوقت، فإنه أنجز أعمالا مهمة مع أراغو لتطوير النظرية الموجية للضوء. وانتخبته الأكاديمية الفرنسية عضوا بها العام 1823، ثم أصبح زميلا للجمعية الملكية في العام 1825، وحصل العام 1827 على ميدالية رمفورد بعد وفاة نيوتن بمائة عام، وقبل وفاته هو ببضعة أيام بداء السل يوم 14 يوليو من العام نفسه. وكان لزاما أن تنتظر النظرية الموجية للضوء عدة عقود لكي تكتمل صياغتها على نحو جيد، وخاصة لكي يحسن الفيزيائيون تقديرهم لحقيقة الضوء في حركته الموجية. بيد أن هذا لم يحل دون حدوث تقدم في التطبيق العملي لاستخدام الضوء. وجدير بالذكر أن فريسنل نفسه استحدث عدسة ذات كفاءة مصنوعة على شكل دوائر حلقية متحدة المركز من زجاج، وكان يهدف أصلا من تطويرها إلى استخدامها منارة لهداية السفن، وكانت كل حلقة لها انحناءة مختلفة قليلا عن الأخرى (وتسمى عدسة فريسنل Fresnel lens). وبدأ الضوء ذاته يتحول ليصبح أهم أداة في العلم، وذلك بفضل المبحث العلمي الوليد المسمى علم الطيف Spectroscopy.

ويمثل علم الطيف أداة للعلم غاية في الأهمية وعالية القيمة، فضلا عن أنه جزء له نفع كبير، وقد يدهشنا أن نعرف أنه لم يكن ميسورا دائما ولم يبدأ فهمه جيدا إلا مع مطلع القرن التاسع عشر. ويشبه هذا قولنا إنه قبل العام 1800 لم يكن ثمة من يعرف أن البابا كاثوليكي العقيدة. ولكن علم الطيف شأنه شأن التقدم العلمي في أغلب جوانبه كان عليه أن ينتظر استحداثات التكنولوجيا الملائمة لتأدية الدور اللازم، وهو في هذه الحالة صناعة المنشور أو أي منظومة أخرى تنشر الضوء الخارج منها وتحلله إلى ألوان طيف قوس قزح، علاوة على ميكروسكوب يمكن استخدامه لتحليل ومسح الطيف بالتفصيل.

خطوط فرونهوفر

حين ندرس الضوء بهذه الطريقة، يمكن أن نرى في الطيف خطوطا حادة ومتمايزة كثيرة، بعضها ساطع وبعضها الآخر معتم. وأول من لحظ ذلك هو عالم الفيزياء والكيمياء الإنجليزي وليام وولاستون (1766 -

1828)، إذ مـــرر ضوءا صادرا عن الشـــمس عبر منشـــور، ودرس الطيف بعـــد تكبيره، وذلك العام 1802، ورأى فيه بعض الخطوط المعتمة. وجدير بالذكـــر أن وولاســـتون كان عالما من المرتبة الثانية، بارعـــا في أمور عدة، وهو الذي اكتشـــف عنصري الروديوم والبلاديوم فضلا عن كونه من أوائل مـــن دعموا النظريـــة الذرية لدالتون، ولكنه مع هذا كله لم يقدم إســـهاما رئيســـيا للعلم. وحري أن نذكر أنه لم يتابع اكتشافه لوجود خطوط معتمة في طيـــف الضوء الآتي من الشـــمس، وبقي هذا الاكتشـــاف إلى أن جاء عالم الفيزياء الصناعية الألماني جوزيف فون فرونهوفر (1781 - 1826) وقام بالاكتشـــاف نفســـه مســـتقلا العام 1814، وأتبع فرونهوفر (بشكل حاســـم) اكتشافه ببحث الظاهرة على نحو ملائم، وهذا هو السبب في أن الخطوط الظاهرة في الطيف الشمســـي نسميها الآن خطوط فرونهوفر، وليس خطوط وولاســـتون. وابتكر فرونهوفـــر أيضا في العام 1821 تقنية أخرى لانتشار الضوء في صورة طيف وهي التقنية المسماة محززة الحيود Diffraction grating (والتي تعتمد بالكامل في عملها، كما يشـــير اسمها، علـــى الطبيعة الموجية للضوء). وتحققت كل هذه الإنجازات لأن فرونهوفر كان يعمل في معمل البصريات الخاص بشـــركة ميونخ للأدوات الفلسفية Munich Philosophical Instrument Company، حيـــث كان يحـــاول تحسين جودة الزجاج المستخدم في صناعة العدسات والمنشورات اللازمة للأعمـــال العلمية، وفي صناعـــات التكنولوجيا العالميـــة في ذلك العصر. وتحققت ثروة الشـــركة بفضل مهارته التي أسهمت أيضا في وضع الأسس لكي تصبح ألمانيا رائدة في صناعة منظومات البصريات طوال قرن تقريبا.

دراسة التحليل الطيفي وأطياف النجوم

نجد من بين أول اكتشـــافاته في مجال التحليل الطيفي اكتشافه وجود خطين أصفرين ســـاطعين، وســـرعان ما بدا واضحـــا أن لكل منهما طول موجـــة خاصا به في طيف الضوء الصادر عن لهب. واســـتخدم فرونهوفر خطي الضوء الأصفر الســـاطع (ونعرف الآن أنه ناتج عن الصوديوم، وهو المســـؤول عن لون مصابيح الطرقات ذات الضوء الأصفر) كمصدر لضوء

صاف أحادي الطول الموجي والمستخدم لاختبار الخواص البصرية لأنواع الزجاج المختلفة. ولحظ الخطوط السوداء في الطيف الشمسي حينما قارن أثر الزجاج في هذا الضوء مع أثره في ضوء الشمس، ونظرا إلى أنه استخدم أدوات فائقة الجودة، فقد رأى أكثر مما رأى وولاستون، إذ رأى ما مجموعه 576 بين طرفي الطيف الأحمر والبنفسجي. ورسم خارطة بالأطوال الموجية لكل منها. ولحظ أيضا خطوطا مماثلة في طيف كوكب الزهرة، وكذا في أطياف النجوم. وأوضح أن الخطوط ذاتها موجودة بأطوال موجاتها نفسها في الأطياف التي حصل عليها باستخدام محززات الحيود، وبرهن بذلك على أن هذه خاصية للضوء نفسه وليس ظاهرة ناتجة عن الزجاج المستخدم في صناعة المنشور عند نفاذ الضوء منها. وإذا كان فرونهوفر لم يتسن له اكتشاف أسباب ظهور الخطوط، بيد أنه هو الذي وصل إلى درجة الكمال في استخدام التحليل الطيفي في العلم.

وعلى الرغم من أن كثيرين بحثوا الظاهرة المكتشفة حديثا، فإن التطورات الرئيسية حدثت أيضا في ألمانيا على أيدي كل من روبرت بونسين (1811 - 1899) وغوستاف كيرشوف (1724 - 1887)، اللذين عملا معا في هايدلبرغ خلال خمسينيات وستينيات القرن التاسع عشر. ولم يكن الأمر مصادفة قط أن هذا هو روبرت بونسين ذاته الذي أطلق اسمه على ما يمكن وصفه بأنه أهم وأشهر أداة معروفة من معدات المعمل، ألا وهي المصباح المسمى باسمه، والذي كان أداة رئيسة في تطوير التحليل الطيفي(*). إذ لوحظ أنه عند تسخين مادة ما في لهب مصباح بونسين فإنها تعطي للهب لونا مميزا يتوقف على طبيعة المادة التي يجري تسخينها (ولن ندهش إذا عرفنا أن المواد التي تحتوي على الصوديوم، مثل الملح العادي، ستعطي اللهب لونا أصفر). وهذه الطريقة، حتى إن لم يكن الهدف منها هو تحليل الطيف، هي طريقة سهلة بسيطة لاختبار ما إذا كان المركب يحتوي على عناصر بذاتها أم لا. ولكننا نستطيع بفضل التحليل الطيفي أن نمضي إلى أبعد من مجرد القول إن عنصرا ما يلون اللهب بلون أصفر، وأن غيره يعطي لونا أخضر، وثالثا يعطي لونا قرمزيا؛ إذ يمكن أن نشهد أن كل عنصر يعطي حال تسخينه نمطا مميزا لخطوط ساطعة في

(*) على الرغم من أن الشكل الأساسي للموقد ابتكره ميشيل فاراداي وطوره بيتر ديزديغا، مساعد بونسين، فإنه كان من الدهاء بحيث عمد إلى تسويقه تحت اسم رئيسه.

الطبيعة، مثل الخطين الأصفريـــن المقترنين بالصوديوم. وهكذا فأينما وجدنا هذين الخطين في طيف نعرف أن العنصر المقترن بهما موجود هنا - حتى إن لم نعرف، مثلما كانت الحال في القرن التاســع عشـــر، كيف أن الذرات المعنية هنا تصنع هذين الخطين. إن كل نمط مميز مثله مثل خطوط الشفرة المطبوعة على الســلع. وتعرف أن المادة عند التسخين تتولد عنها خطوط ساطعة كأنها تشع ضوءا، وعندما تكون المادة نفسها موجودة ولكن باردة، تتولد منها خطوط معتمة في الطيف(*) نظرا إلى أنها تمتص ضوء الخلفية الأساسي ذي الأطوال الموجية ذاتها تحديدا كأنها تشــع ضوءا عند التســخين. وبعد إجراء سلســلة متعاقبـــة من اختبارات اللهب في المعمل على عناصر مختلفة، أمكن تأســيس مكتبة تشــتمل على أنماط الطيف الخاصة والميـــزة المقترنة بكل عنصر من العناصر المعروفة. وحدد كيرشوف العام 1859 خطوط الصوديوم المميزة في ضوء الشمس، مما يعتبر دليلا على وجود الصوديوم في الغلاف الجوي للنجم المجاور لنا. وســرعان ما أمكن تحديد خطوط أخرى في الطيف الشمســـي، ثم في أطياف النجوم، تأسيســا على عناصر أخـــرى. ولعل المثال الأكثر إثارة للدلالة على قوة التحليل الطيفي أنه هيأ إمكانية لعلماء الفلك لاكتشاف طبيعة المــواد التـــي تتكون منها النجـــوم. وجدير بالذكر أنه خـــلال حدث مثير يمثل معكوس هذه العملية، وذلك في أثناء خســـوف الشـــمس العام 1868، اكتشف كل من عالم الفلك الفرنســـي بيير جانســـين (1824 - 1907) وعالم الفلك الإنجليـــزي نورمان لوكيـــار (1836 - 1920) أن الطيف الشمســـي به نمط خطوط لا يتطابق مع «بصمة» أي عنصر معروف على الأرض؛ واستنتج لوكيار أنها تخص بالضرورة عنصرا غير معروف في الســـابق لنا، وأطلق عليه اســـم «هليوم» المشـــتق من كلمة هليوس الإغريقية، وتعني الشمس. ولم يتسن تحديد عنصر الهليوم على الأرض إلا العام 1895. ومع ذلك ســـاد الظن وقتذاك أنه أمكن حل لغز طبيعة الضوء تماما بفضل فهم الكهرباء والمغناطيســـية كامتداد لأعمال ميشيل فاراداي، المساعد السابق لهمفري ديفي. وهذا هو العمل الذي أتمه جيمس كلارك ماكســـويل في مجال اعتبره المختصون أهم وأعمق إنجاز فيزيائي منذ أيام نيوتن.

(*) «بارد» مصطلح نسبي. إن خطوط فرونهوفر تكون معتمة لأنها - حتى إن كان الغاز الموجود في الغلاف الجوي للشمس ساخنا - ليست بدرجة سخونة سطح الشمس ذاته وهو مصدر الضوء.

صاف أحادي الطول الموجي والمستخدم لاختبار الخواص البصرية لأنواع الزجاج المختلفة. ولحظ الخطوط السوداء في الطيف الشمسي حينما قارن أثر الزجاج في هذا الضوء مع أثره في ضوء الشمس، ونظرا إلى أنه استخدم أدوات فائقة الجودة، فقد رأى أكثر مما رأى وولاستون، إذ رأى ما مجموعه 576 بين طرفي الطيف الأحمر والبنفسجي. ورسم خارطة بالأطوال الموجية لكل منها. ولحظ أيضا خطوطا مماثلة في طيف كوكب الزهرة، وكذا في أطياف النجوم. وأوضح أن الخطوط ذاتها موجودة بأطوال موجاتها نفسها في الأطياف التي حصل عليها باستخدام محززات الحيود، وبرهن بذلك على أن هذه خاصية للضوء نفسه وليس ظاهرة ناتجة عن الزجاج المستخدم في صناعة المنشور عند نفاذ الضوء منها. وإذا كان فرونهوفر لم يتسن له اكتشاف أسباب ظهور الخطوط، بيد أنه هو الذي وصل إلى درجة الكمال في استخدام التحليل الطيفي في العلم.

وعلى الرغم من أن كثيرين بحثوا الظاهرة المكتشفة حديثا، فإن التطورات الرئيسية حدثت أيضا في ألمانيا على أيدي كل من روبرت بونسين (1811 - 1899) وغوستاف كيرشوف (1724 - 1887)، اللذين عملا معا في هايدلبرغ خلال خمسينيات وستينيات القرن التاسع عشر. ولم يكن الأمر مصادفة قط أن هذا هو روبرت بونسين ذاته الذي أطلق اسمه على ما يمكن وصفه بأنه أهم وأشهر أداة معروفة من معدات المعمل، ألا وهي المصباح المسمى باسمه، والذي كان أداة رئيسة في تطوير التحليل الطيفي(*). إذ لوحظ أنه عند تسخين مادة ما في لهب مصباح بونسين فإنها تعطي للهب لونا مميزا يتوقف على طبيعة المادة التي يجري تسخينها (ولن ندهش إذا عرفنا أن المواد التي تحتوي على الصوديوم، مثل الملح العادي، ستعطي اللهب لونا أصفر). وهذه الطريقة، حتى إن لم يكن الهدف منها هو تحليل الطيف، هي طريقة سهلة بسيطة لاختبار ما إذا كان المركب يحتوي على عناصر بذاتها أم لا. ولكننا نستطيع بفضل التحليل الطيفي أن نمضي إلى أبعد من مجرد القول إن عنصرا ما يلون اللهب بلون أصفر، وأن غيره يعطي لونا أخضر، وثالثا يعطي لونا قرمزيا؛ إذ يمكن أن نشهد أن كل عنصر يعطي حال تسخينه نمطا مميزا لخطوط ساطعة في

(*) على الرغم من أن الشكل الأساسي للموقد ابتكره ميشيل فاراداي وطوره بيتر ديزديغا، مساعد بونسين، فإنه كان من الدهاء بحيث عمد إلى تسويقه تحت اسم رئيسه.

الطبيعة، مثل الخطين الأصفريــن المقترنين بالصوديوم. وهكذا فأينما وجدنا هذين الخطين في طيف نعرف أن العنصر المقترن بهما موجود هنا - حتى إن لم نعرف، مثلما كانت الحال في القرن التاســع عشــر، كيف أن الذرات المعنية هنا تصنع هذين الخطين. إن كل نمط مميز مثله مثل خطوط الشفرة المطبوعة على الســلع. وتعرف أن المادة عند التسخين تتولد عنها خطوط ساطعة كأنها تشع ضوءا، وعندما تكون المادة نفسها موجودة ولكن باردة، تتولد منها خطوط معتمة في الطيف(*) نظرا إلى أنها تمتص ضوء الخلفية الأساسي ذي الأطوال الموجية ذاتها تحديدا كأنها تشــع ضوءا عند التســخين. وبعد إجراء سلســلة متعاقبــة من اختبارات اللهب في المعمل على عناصر مختلفة، أمكن تأســيس مكتبة تشــتمل على أنماط الطيف الخاصة والمميــزة المقترنة بكل عنصر من العناصر المعروفة. وحدد كيرشوف العام 1859 خطوط الصوديوم المميزة في ضوء الشمس، مما يعتبر دليلا على وجود الصوديوم في الغلاف الجوي للنجم المجاور لنا. وســرعان ما أمكن تحديد خطوط أخرى في الطيف الشمســي، ثم في أطياف النجوم، تأسيســا على عناصر أخــرى. ولعل المثال الأكثر إثارة للدلالة على قوة التحليل الطيفي أنه هيأ إمكانية لعلماء الفلك لاكتشاف طبيعة المــواد التــي تتكون منها النجــوم. وجدير بالذكر أنه خــلال حدث مثير يمثل معكوس هذه العملية، وذلك في أثناء خســوف الشــمس العام 1868، اكتشف كل من عالم الفلك الفرنســي بيير جانســين (1824 - 1907) وعالم الفلك الإنجليــزي نورمان لوكيــار (1836 - 1920) أن الطيف الشمســي به نمط خطوط لا يتطابق مع «بصمة» أي عنصر معروف على الأرض؛ واستنتج لوكيار أنها تخص بالضرورة عنصرا غير معروف في الســابق لنا، وأطلق عليه اســم «هليوم» المشــتق من كلمة هليوس الإغريقية، وتعني الشمس. ولم يتسن تحديد عنصر الهليوم على الأرض إلا العام 1895. ومع ذلك ســاد الظن وقتذاك أنه أمكن حل لغز طبيعة الضوء تماما بفضل فهم الكهرباء والمغناطيســية كامتداد لأعمال ميشيل فاراداي، المساعد السابق لهمفري ديفي. وهذا هو العمل الذي أتمه جيمس كلارك ماكســويل في مجال اعتبره المختصون أهم وأعمق إنجاز فيزيائي منذ أيام نيوتن.

(*) «بارد» مصطلح نسبي. إن خطوط فرونهوفر تكون معتمة لأنها - حتى إن كان الغاز الموجود في الغلاف الجوي للشمس ساخنا - ليست بدرجة سخونة سطح الشمس ذاته وهو مصدر الضوء.

ميشيل فاراداي:
دراساته عن الكهرومغناطيسية

يكاد فاراداي يكون متفردا بين أسماء الأعلام في العلم من حيث إنه لم يقدم أي شيء ذي قيمة قبل بلوغه الثلاثين من عمره، ثم قدم بعد ذلك إسهاما هو الأهم قاطبة من أي إسهام آخر لأي من أبناء جيله (أو أي جيل آخر في الحقيقة)، هذا علاوة على أفضل الأعمال التي أنجزها بعد بلوغه الأربعين. ونحن لا نجد سوى أمثلة نادرة لعلماء ظلوا نشطين محتفظين بأعلى مستوى لهم في سنوات العمر المتأخرة (ويعتبر آينشتين مثالا واضحا لذلك)، بيد أنهم كشفوا وهم في العشرينيات من العمر عن قدرة غير عادية. ونستطيع أن نقول إن فاراداي، في ضوء إنجازاته الأخيرة، كان مثالا صادقا لذلك أيضا؛ ولكن الظروف المحيطة به حالت دونه والبدء في مجال البحث العلمي حتى ناهز الخامسة والعشرين، وهذا هو العمر الذي أنجز فيه آينشتين أعماله عن الذرات، والتي أسلفنا ذكرها في الفصل السابق، بل أنجز أيضا كلا من نظريته الخاصة عن النسبية، والعمل الذي حصل بسببه فيما بعد على جائزة نوبل.

نزحت عائلة فاراداي من منطقة كانت تسمى آنذاك ويستمورلاند في شمال إنجلترا. وكان جيمس، والد ميشيل، يعمل حدادا، ونزح إلى منطقة الجنوب ومعه زوجته وطفله (روبرت من مواليد العام 1788، واليزابيث من مواليد العام 1787) وذلك للبحث عن عمل في العام 1791. واستقر المقام بالأسرة فترة وجيزة في نيوانغتون، التي كانت وقتذاك قرية تابعة لمنطقة سوري، ولكن استوعبتها الآن لندن. وولد ميشيل هناك في 22 سبتمبر العام 1791. ولكن سرعان ما انتقلت الأسرة إلى قلب لندن ذاتها ليسكنوا في غرفتين فوق سطح بيت متواضع قرب ميدان مانشستر. وشهد المسكن الجديد ميلاد مارغريت العام 1802. وعلى الرغم من أن جيمس فاراداي كان حدادا جيدا، فإنه عانى من اعتلال صحته وبدا أغلب الأحيان عاجزا عن العمل (وتوفي العام 1810)، وهكذا نشأ الأطفال وتربوا بين أحضان الفقر، لا يملكون مالا للإنفاق على ترفيات مثل التعليم أو كل ما يتجاوز المستويات الأساسية من قراءة وكتابة ومعرفة بالحساب (ويمكن القول إن هذا ميزهم

عن الناس الأفقر حالا في زمانهم). ولكن كانت الأسـرة متماسكة وتسودها المحبة ويدعـم هذا فيهم إلى حد كبير العقيدة الدينية، باعتبارهم من أبناء طائفة السـاندمنيانز، وهي طائفة نشأت أصلا في ثلاثينيات القرن الثامن عشر كفصيل منشـق عن الطائفة المشيخية Presbyterians الإسكوتلندية. سـاعدهم إيمانهم الجازم بالخلاص على أن يتحملوا في يسر ورضا مشاق الحيـاة على الأرض، علاوة على تعاليم الطائفة عن التواضع ومقت التفاخر أو الاسـتعراض، فضلا عن الالتزام بالعمل الخيـري دون تطفل أو فضول، وأضفى كل هذا بصبغته على حياة فاراداي.

وعندما بلغ ميشـيل الثالثة عشـرة من العمر، شـرع في إدارة شؤون جورج ريبو، وهو بائع كتب ويعمل في تجليد الكتب، ومراسـل أخبار امتلك محلا في شـارع بلاندفورد مقابل شارع بيكر، وغير بعيد عن البيت الذي تسـكنه عائلة فـاراداي. وعمل بعد عام تلميذا صناعيـا لدى ريبو ليتعلم منه تجليد الكتب. وسـرعان ما انتقل ليسكن أعلى المحل. ونحن لا نعرف غير النزر اليسير عن حياة فاراداي على مدى السنوات الأربع التالية، بيد أننا نسـتطيع أن نلتقـط من هنا ومن هناك ما يصنـع لدينا انطباعا عن مناخ أسرة سـادها جو من السعادة في محل ريبو (وكرمه وحسن معاملته كصاحـب عمل)، وهو ما نسـتدل عليه من واقع حيـاة ثلاثة من التلاميذ الصناعيـين الذين كانـوا يعملون لديه معا، ذلـك أن أحدهم أصبح مغنيا محترفا، بينما الثاني عمل ممثلا كوميديا في قاعات للموسـيقى، وأخيرا فـاراداي الذي أقبل في نهم على قراءة أكداس الكتب المتاحة له، ثم تطور ليصبح واحدا من أشـهر العلماء. وبدا مفتونا بالكهرباء، وهي المجال الذي حقق فيه فيما بعد أعظم إنجازاته للعلم، وكان أول ما أثار في نفسـه فتنة بالكهرباء قراءة مقال عن الموضوع في نسخة من الطبعة الثالثة للموسوعة البريطانية التي أحضرها أحد العلماء للتجليد.

وفـي العام 1810، وهو العام الذي توفي فيه الأب (*)، أصبح فاراداي عضوا بالجمعية الفلسفية للمدينة، وهذه الجمعية (وعلى الرغم من اسمها الفخم) مؤلفة من مجموعة من الشـباب التواقين لتطوير أنفسهم، اعتادوا

(*) عاشـت أم فاراداي حتى العـام 1838، وامتد بها العمر لترى ابنهـا وقد أصبح واحدا من أعظم علماء جيله.

أن يلتقوا معا لمناقشة قضايا العصر، ومن بينها الاكتشافات الجديدة المثيرة في مجال العلم. واعتادوا أن يقدم، كل في دوره، محاضرة عن موضوع بذاته (جدير بالذكر أن قيمة الاشتراك قدرها شلن واحد، وقد دفع اشتراك فاراداي أخوه روبرت الذي تولى مسؤولية الأسرة ويعمل حدادا).

وأجرى فاراداي مناقشات ومراسلات مع أصدقائه هناك، وبدأ من خلال ذلك يطور معارفه العلمية ومهاراته الشخصية ويعمل في دأب على تحسين لغته والتهجي الصحيح للكلمات وتحسين وضع العلامات والترقيم بين الجمل. أجرى تجارب في الكيمياء والكهرباء، واعتاد أن يناقش تجاربه مع زملائه «فلاسفة المدينة»، علاوة على تسجيل مذكرات تفصيلية دقيقة عن الموضوعات التي تجري مناقشتها في الاجتماعات، والتي حرص على المشاركة فيها. وبحلول العام 1812، وقد ناهز الواحدة والعشرين من العمر، وأصبح على وشك إنهاء فترة التلمذة الصناعية، توافرت لديه أربعة مجلدات من هذه المذكرات التي حرص على جمعها، الأمر الذي ابتهج له ريبو، إذ أسعده وجود فيلسوف شاب في بيته، ولهذا اعتاد أن يعرض مزهوا هذا الواقع على أصدقائه وعملائه. وكان أحد هؤلاء العملاء هو السيد دانس الذي أعجب بالمذكرات أيما إعجاب، حتى أنه طلب استعارة المجلدات ليعرضها على أبيه، وهو من المهتمين بالعلم. وحازت المجلدات إعجاب دانس الأب حتى أنه أعطى فاراداي بطاقات دعوة لحضور سلسلة من أربع محاضرات عن الكيمياء سيلقيها همفري ديفي في المعهد الملكي (وشاءت الظروف أن كانت هذه آخر سلسلة محاضرات يقدمها ديفي هناك) في ربيع العام 1812. وحظيت هذه المحاضرات باهتمام فاراداي وسجلها في حرص شديد وكتبها مقترنة برسوم بيانية وجمعها في كتاب قام بتجليده، وعرض الكتاب على السيد دانس الأب الذي ابتهج لهذا العمل كرد على كرمه معه.

وأكدت المحاضرات أن فاراداي يتحرق شوقا ليصبح عالما، بيد أنه لم يكن أمامه من سبيل ليتحول الحلم إلى حقيقة. انتهت فترة تلمذته الصناعية في 7 أكتوبر 1812، وبدأ يعمل أخصائيا في تجليد الكتب لحساب السيد دولاروش الذي روت الأخبار عنه أنه كان رب عمل صعب

الإرضاء، ولكنه ربما كان مجرد رجل أعمال عادل يريد من العاملين لديه أن يحصروا عقولهم في عملهم. ولم يكن فاراداي يقينا على هذا النحو، وشرع يكتب رسائل إلى كل من يخطر على باله (بمن فيهم رئيس الجمعية الملكية، سير جوزيف بانكس، الذي لم يكلف نفسه مشقة الرد عليه) يسألهم كيف السبيل للحصول ولو على أكثر الوظائف ضعة في مجال العلم، ولكن من دون فائدة. ولكن بعد بضعة أسابيع وافاه الحظ الذي من شأنه أن يغير حياته. إذ حدث أن أصيب ديفي بالعمى المؤقت نتيجة انفجار في معمله، واحتاج إلى شخص لديه معرفة قليلة بالكيمياء ليعمل سكرتيرا له لبضعة أيام. وحصل فاراداي على الوظيفة (الأرجح بناء على تزكية من السيد دانس الأب). وليست لدينا معلومات عن كيف وجد وقتا ليتفرغ حينا من عمله ويؤدي مهامه الجديدة، ولكن الواقع يؤكد أنه فعل ما يريد، وهو ما يفيد بأن السيد دولاروش ليس بالسوء الذي صورته الأحاديث عنه. وعندما أراد فاراداي العودة إلى مهنته بعد أن شفي ديفي أرسل إلى ديفي مجموعة الملاحظات والحواشي عن المحاضرات التي تابعها في الربيع وذلك بعد تجليدها في كتاب. وأرفق بها رسالة يسأله (عمليا يتوسل إليه) أن يوفر له ولو أكثر الوظائف تدنيا في المعهد الملكي.

لم تكن ثمة بادرة لفرجة أمل جديد، ثم جاءت ضربة الحظ الثانية، إذ في فبراير 1813 أصبح لزاما طرد وليام باين، مساعد المعمل في المعهد الملكي وهو مدمن شراب، وذلك بسبب اعتدائه على صانع الأدوات (وإن كنا لا نعرف سبب العراك). وعرض ديفي على فاراداي الوظيفة مع تحذيره بأن «العلم عشيقة قاسية وممسكة من حيث المال وشحيحة في ما تقدمه من عائد ومكافآت لأولئك الذين نذروا حياتهم لخدمتها»(*). لم يعبأ فاراداي بكل هذا. وقبل الوظيفة مقابل جنيه في الأسبوع، علاوة على السكنى في غرفتين أعلى بناية المعهد الملكي في شارع البيرمارل، مع توفير الشموع والوقود اللازم (ويعتبر الراتب أقل قليلا مما كان يحصل عليه في عمله في تجليد الكتب). وتولى مهام الوظيفة في الأول من مارس 1813، وأصبح حرفيا الشخص المسؤول عن غسيل الأواني الزجاجية (علاوة على

(*) انظر هارتلي.

أشياء أخرى) تخص همفري ديفي. ولكنه كان منذ البداية أكثر من مجرد خادم، بل حرص على مصاحبة ديفي في جميع التجارب التي يجريها طوال الفترة التي بقي فيها في المعهد الملكي.

وتتجلى لنا قيمة فاراداي كمساعد من واقعة محددة وهي أنه بعد ما لا يزيد على ستة أشهر طلب ديفي من فاراداي أن يصحبه هو وزوجته في رحلتهما إلى أوروبا، ليكون ديفي مساعده العلمي. ورغب الفرنسيون في منح تأشيرة سفر إلى فريق ديفي لسبب محدد هو أنه تقدم على أساس أنه بصدد بعثة استكشافية علمية، لبحث عدة أمور، من بينها كيمياء المناطق البركانية. ولقد كانت الرحلة بالفعل بعثة استكشافية علمية غير أن مشاركة ليدي ديفي جعلتها أشبه برحلة شهر عسل أيضا، مما تسبب في بعض المشكلات بالنسبة إلى فاراداي. ذلك أن الخادم الخاص لديفي رفض في آخر لحظة المغامرة بالذهاب إلى فرنسا النابليونية، ومن ثم أصبح فاراداي مطالبا بمضاعفة جهده والقيام بكل هذه الواجبات، علاوة على المساعدة في مجال الكيمياء. ولعل هذا كله كان يمكن أن يمضي على نحو مقبول ومعقول لو لم يصحب ديفي زوجته، ولكن يبدو أن ليدي ديفي أخذت العلاقة بين السيدة والخادم بجدية مما جعل الحياة شديدة المشقة على فاراداي، حتى أنه فكر أحيانا وبشكل جاد أن يترك البعثة الاستكشافية ويقفل عائدا إلى الوطن. ولكنه ثبت في موقفه أخيرا وغيرت التجربة حياته إلى ما هو أفضل.

جدير بالذكر أنه قبل أن تبدأ الرحلة في 13 أكتوبر 1813 كان فاراداي فتى غرا لم يسبق له أن سافر إلى أبعد من 20 كيلومترا من وسط لندن. وحين حان موعد العودة بعد رحلة امتدت سنة ونصف السنة كان فاراداي قد التقى بكثيرين من كبار العلماء في فرنسا وسويسرا وإيطاليا، وشاهد جبالا كما شاهد البحر المتوسط (فضلا عن أنه شاهد التليسكوب الذي استخدمه غاليليو لاكتشاف أقمار كوكب المشتري)، وأصبح معاون ديفي العلمي، وليس مجرد مساعد له. وتعلم أن يقرأ الفرنسية والإيطالية والتحدث بالفرنسية بطريقة مرضية. وسرعان ما أدرك المعهد الملكي التحسن الذي طرأ على قدراته عند العودة. وحري أن نذكر أن فاراداي

اضطر إلى الاستقالة من وظيفته في المعهد الملكي لكي يشارك ديفي رحلته، وجاءت الاستقالة بعد ستة أشهر فقط من توليه الوظيفة ولكن مع ضمان إعادة توظيفه عند العودة، وبشروط لا تقل عما كان عليه. وعند العودة عُيِّن في وظيفة مشرف على الأجهزة، ومساعدا في المعمل وفي مجال المقتنيات المعدنية، مع زيادة راتبه إلى 30 شلنا في الأسبوع وتوفير حجرات أفضل للسكن في المعهد الملكي، ونظرا إلى أن ديفي، كما سبق ورأينا، بدأ في الانسحاب من العمل اليومي في المعهد الملكي، فقد هيأ هذه الفرصة لكي تزداد مكانة فاراداي وذاع صيته باعتباره باحثا كيميائيا يتصف بالصلابة والثقة، وإن لم يكشف بعد عن أي علامات للتألق والعبقرية. وفي 12 يونيو العام 1821 أكمل عامه الثلاثين وتزوج سارة برنارد. وهي أيضا من طائفة الساندمنيان (ويبدو أن أتباع هذه الطائفة لا يميلون إلى الزواج من خارج الطائفة - إذ بعد خمس سنوات تزوجت مارغريت أخت ميشيل، جون شقيق سارة، وعاش الزوجان معا «فوق المتجر» في شارع البيرمارل حتى العام 1862 (ولم ينجبا أطفالا). واستهل فاراداي في هذه الفترة أول بحث له في الظاهرة الكهربية، وهو البحث الذي صنع شهرته. هذا على الرغم من أنه لم يتابع عمله هذا لمدة عقد من الزمن.

وفي العام 1820 اكتشف دان هانز كريستيان أورستيد (1777 - 1851) أن ثمة تأثيرا مغناطيسيا مقترنا بتيار كهربي. ولحظ أن الإبرة المغناطيسية إذا أمسكنا بها فوق سلك به تيار كهربي فإن الإبرة تنحرف لتشير فوق السلك، في وضع زاويتين قائمتين. ولم يكن هذا شيئا متوقعا لأنه يعني وجود قوة مغناطيسية تعمل في دائرة (أو سلسلة دوائر) حول السلك وهو ما يختلف تماما عن قوى الدفع - الجذب المألوفة التي تتجاذب أو تتنافر على أساسها القضبان المغناطيسية بعضها مع بعض، كما تختلف عن الطريقة التي تعمل بها الكهربية الاستاتيكية والجاذبية كقوى جذب مباشرة (وكذلك التنافر في حالة الكهرباء الاستاتيكية). ومع انتشار هذه الأخبار المثيرة في كل أنحاء أوروبا، كرر كثيرون التجربة وحاولوا التوصل إلى تفسير لما يحدث. وكان من بين هؤلاء وليام وولاستون، الذي توصل إلى فكرة مؤداها أن التيار الكهربي

ينتقل في منحنى حلزوني عبر السـلك أشـبه بطفل ينزلق بعجلة وعشوائية، وأن هذا التيار في سيره الحلزوني هو الذي يؤدي إلى ظهور القوة المغناطيسية الدائرية. ووفق رؤيته هذه فإن أي سـلك بـه تيار كهربي لا بد أن يلف ويدور بسـرعة حول محوره عند وضعه قريبا من مغناطيس. وفي أبريل 1821، زار وولاستون المعهد الملكي وأجرى بعض التجارب بالاشتراك مع ديفي للبحث عن هـذه الظاهرة، ولكنهما أخفقا في العثـور عليها. ولكن فاراداي الذي لم يكن حاضرا التجارب انضم إليهما بعد ذلك في أثناء المناقشة.

بعد ذلك، وفي العام 1821، طلبت صحيفة حوليات الفلسفة (Annals of Philosophy) مـن فـاراداي أن يكتـب لها عرضا تاريخيا لاكتشـاف أورستيد والنتائج المترتبة عليه. ونظرا إلى أن فاراداي رجل يتصف بالدقة والشمول، فإنه اضطر للوفاء بالمطلوب أن يكرر جميع التجارب التي يعتزم عرضهـا في المقـال، وأدرك في أثناء العمل أن السـلك الذي يحمل تيارا كهربيا يضطر إلى التحرك في دائرة حول مغناطيس ثابت. ووضع تصميما لتجربتين، تجربة لإثبات هذا، وتجربة يتحرك فيها المغناطيس حول سـلك مثبـت به تيار كهربي. وكتب يقول: «الملاحظ أن جهد السـلك ينتقل دائما فـي زاوية قائمة مـن قطب المغناطيس لكـي يتحرك في دائـرة حوله». وهذا شـيء مختلف تماما عن الظاهرة (التي لا وجود لها) التي ناقشـها وولاسـتون، ولكن عندما نشر فاراداي بحثه في أكتوبر العام 1821، نجد أن البعض ممن ليست لديهم سوى فكرة غامضة عما كان يبحثه وولاستون (بـل وديفي أيضـا، الذي كان حريا بـه أن تكون معلوماتـه أفضل) ذهب بهم الظن إلى أن فاراداي إما أنه لا يريد سـوى إثبات أن وولاسـتون على صواب، أو أنه يحاول أن يسـلب استحقاقات وولاستون جزاء عمله. ولعل هذا الوضع السـيئ كان عاملا وسـببا في أن ديفي حاول حرمان فاراداي من أن يصبـح زميلا بالجمعية الملكية العام 1824؛ ولكن انتخاب فاراداي زميلا بأغلبية سـاحقة يؤكد أن عددا كبيرا من العلماء ذوي الفكر الثاقب يقدرون تماما أهمية وأصالة عمله. والحقيقة أن الاكتشـاف الذي يشكل الأساس للمحرك الكهربائي كان سببا في ذيوع اسم فاراداي في كل أنحاء أوروبا، وهذا كله مؤشـر على مدى أهمية الاكتشاف، وعلى سرعة التغير

التكنولوجي وقتذاك. ويكفي أن ندرك أنه بعد ستين سنة فقط من اللعبة التي برهن من خلالها فاراداي أن قطعة سلك تدور حول مغناطيس مثبت، بدأت القاطرات الكهربائية تجري في ألمانيا وبريطانيا والولايات المتحدة.

لم يقدم فاراداي خلال عشرينيات القرن التاسع عشر سوى القليل جدا زيادة على ما قدمه في الكهرباء والمغناطيسية (أو لنقل إنه لم يحقق تقدما عمليا غير أنه اعتاد بين الحين والآخر معالجة الموضوع على نحو سريع وعابر)، ولكنه قدم مساهمة جيدة في مجال الكيمياء، بحيث كان أول من عمل على تسجيل الكلور (العام 1823). واكتشف المركب المعروف الآن باسم البنزين (العام 1825)، وهو اكتشاف مهم، إذ تبين فيما بعد أن له البنية الحلقية الأصلية التي فسرها بعد ذلك كيكوليه، ثم تبين في القرن العشرين أنها ذات أهمية رئيسية في جزيئات الحياة. وأصبح أيضا مديرا للمعمل في المؤسسة الملكية خلفا لديفي (وهو ما يعني عمليا المسؤول عن إدارة المكان) وذلك في العام 1825، وفي أواخر عشرينيات القرن التاسع عشر، عزز ثروة المؤسسة الملكية بأن أدخل سلسلة جديدة من المحاضرات الشعبية (ألقى هو أكثرها) وكذا محاضرات الكريسماس للأطفال. وليس وجه الغرابة في أنه لم يعد إلى دراسة الكهرباء والمغناطيسية قط لفترة طويلة، بل كيف استطاع أن يوفر وقتا لإجراء أي بحث على الإطلاق. وهذه علامة مهمة على طبيعة تغير العلم وقتذاك، حتى أن فاراداي كتب منذ فترة باكرة في العام 1826:

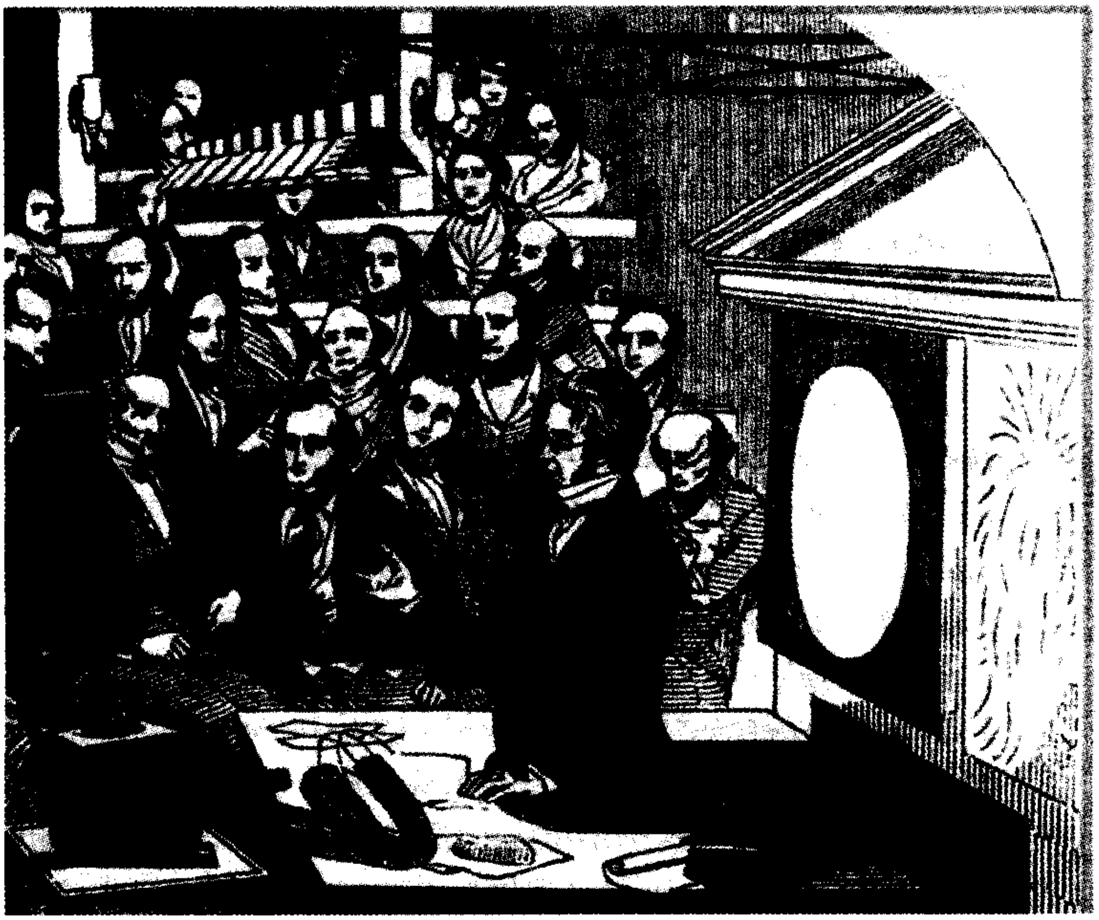
> من المستحيل على أي شخص يرغب في أن ينذر بعض وقته للتجربة الكيميائية، أن يقرأ جميع الكتب والأبحاث المنشورة ذات الصلة باهتمامه، إن أعدادها مهولة، وعملية فحص وغربلة القليل من الحقائق النظرية والتجريبية التي تحجبها نسب كبيرة جدا من مواد غير ذات فائدة، أو تخيلات، أو أخطاء، تؤدي في الأغلب الأعم بالكثيرين ممن يحاولون إجراء التجربة إلى الإسراع في انتقاء مختارات من بين قراءاتهم؛ ويفضي هذا أحيانا إلى فقدان ما هو جيد فعلا، وذلك عن غفلة منهم (*).

(*) الاقتباس عن كروثر، «العلماء البريطانيون للقرن التاسع عشر»
Crowther، British Scientists of the Nineteenth Century.

وســـاءت المشـــكلة أكثر وأكثر حتى أن موقـــف الكثيرين من أفضل العلماء (كما ســـبق أن رأينا بالنسبة إلى حالة آينشتين) كان يتمثل في الأغلب الأعم في الإحجام عن بذل أي محاولة «لمتابعة أدبيات العلم». وفي العـــام 1833 تلقى فـــاراداي منحة جديدة عـــلاوة على منصبه مديرا، إذ أصبح أســـتاذا للكيمياء بالمؤسســـة الملكية - ولكنه منذ ذلك التاريـــخ، وعلى الرغم من أنه ناهز الأربعين من عمره، عاد بنجاح إلى جهوده في مجال الكهرباء والمغناطيســـية، الذي أصبح أعظم إنجاز له على الإطلاق.

اختراع المحرك الكهربائي والدينامو

الســـؤال الـــذي كان يشـــغل بال الكثيريـــن، بمن فيهم فـــاراداي، في عشـــرينيات القرن التاسع عشـــر هو: إذا كان التيار الكهربي في إمكانه أن يســـتحث قوة مغناطيســـية في المكان القريب منه، فهل معنى هذا أن المغناطيـــس في إمكانه أن يســـتحث تيـــارا كهربيا؟ وشـــهد العام 1824 اكتشـــافا واحدا رئيســـيا، ولكن من دون أن يفسره أحد تفسيرا صحيحا إلى حين عاد فاراداي ثانية إلى المشكلة في ثلاثينيات القرن التاسع عشر. واكتشـــف فرانسوا أراغو أنه إذا ما علقنا إبرة بوصلة مغناطيسية بخيط فوق قرص نحاسي فإن القرص يدور (مثلما يدور قرص السي دي داخل جهاز التســـجيل) وتنحرف الإبرة. وســـبق أن لحظ ظاهرة مماثلة عالمان فيزيائيان إنجليزيان هما بيتر بارلو (1776 - 1862) وصمويل كريستي (1784 - 1864)، ولكنهما استخدما وقتذاك قرصين من الحديد. ولكن نظرا إلى أن الحديد قابل للمغنطة على عكس النحاس فقد كان اكتشاف آراغو أكثر إثارة للدهشـــة، وأثبت في النهاية أنه أكثر دلالة ونفعا للفهم. ونحن الآن نفســـر الظاهرة على أنها نتيجـــة أن القرص الموصل يتحرك بالقرب من الإبرة المغناطيســـية. ويســـتحث هذا تيارا كهربيا في القرص كمـــا أن هذا التيار يســـتحث بدوره مزيدا من التأثير المغناطيســـي الذي يؤثر في الإبرة. ويســـتند هذا التفســـير بالكامل إلـــى إنجاز فاراداي في ثلاثينيات القرن التاسع عشر.



33 - فاراداي يلقي محاضرة في المؤسسة الملكية.
الرسم من مجلة "The illustraterd London News". 1846.

وفي الوقت الذي عالج فيه فاراداي المشكلة العام 1831، بدا واضحا أن مرور تيار كهربي عبر سلك ملفوف على هيئة لولب (ويشار إليه عادة باسم ملف، وإن كان هذا غير دقيق تماما) سيجعله يعمل مثل قضيب مغناطيسي له قطب شمالي عند أحد طرفي الملف، وقطب جنوبي عند الطرف الآخر. وإذا التف ملف السلك حول قضيب حديدي فإن القضيب يتحول إلى مغناطيس عند تشغيل تيار الكهرباء. وأراد فاراداي أن يعرف هل هذا التأثير سوف يحدث عندما نعكس الوضع، أي أن قضيبا حديديا ممغنطا من شأنه أن يجعل التيار الكهربي يسري في السلك، لهذا أجرى تجربة على حلقة حديدية قطرها نحو 15 سم، بينما الحديد نفسه سمكه نحو 2 سم تقريبا. ولف ملفين من السلك على جانبين متقابلين من الحلقة، ووصل أحد الجانبين ببطارية (لتمغنط الحديد حال سريان التيار عبر الملف) ووصل الآخر إلى جهاز قياس حساس للكشف عن التيار الكهربي واتجاهه

(الغلفانومتر الذي يعتمد على ظاهرة المحرك الكهربي، التي عرضها فاراداي العام 1821)، وذلك لتسجيل أي تيار ينشأ حال مغنطة الحديد. وأجريت التجربة الأساسية في 29 أغسطس 1831. ويا لدهشة فاراداي حين لحظ أن إبرة الغلفانومتر اهتزت فور توصيل الملف الأول بالبطارية، ثم ارتدت ثانية إلى الصفر. واهتزت ثانية حال فصل الوصلة بالبطارية. وتبين أنه حال سريان تيار كهربي ثابت، يتولد عنه تأثير مغناطيسي ثابت، لا يحدث تيار كهربي. ولكن خلال اللحظة القصيرة التي يتغير أثناءها التيار الكهربي (سواء إلى أعلى أو إلى أدنى) مع تغير التأثير المغناطيسي أيضا (سواء بالزيادة أو النقصان) فإننا نلحظ استحثاثا لتيار كهربي. وأجرى فاراداي مزيدا من التجارب، وسرعان ما اكتشف أن مجرد تحريك قضيب مغناطيسي إلى داخل أو إلى خارج ملف سلك فإن هذا كاف لكي يسري تيار كهربي في السلك. واكتشف أنه مثلما يستحث تيار كهربي يسري في السلك تأثيرا مغناطيسيا بالقرب منه، كذلك فإن مغناطيسا متحركا من شأنه أيضا أن يستحث تأثيرا كهربيا في المحيط المجاور له. وهذه صورة مماثلة تماما تفسر تجربة أراغو فضلا عن أنها تفسر لنا لماذا عجز الجميع عن استحثاث تيار كهربي عن طريق استخدام مغناطيس ثابت. ومثلما ابتكر فاراداي، اتساقا مع هذا الخط، المحرك الكهربي، ابتكر الآن أيضا المولد الكهربي أو الدينامو الذي يستخدم حركة ملفات السلك والمغناطيسات ذات الصلة المشتركة لتوليد تيارات كهربية. وضمّن هذه المجموعة من الاكتشافات في بحث له قرأه على الجمعية الملكية يوم 24 نوفمبر العام 1831، واحتل فاراداي بفضل هذه الاكتشافات المكانة الأعلى بين علماء عصره (*).

فاراداي وخطوط القوة

واصل فاراداي إجراء تجاربه التي اشتملت على الكهرباء والكيمياء (الكيمياء الكهربية)، والتي يدخل أغلبها في تطبيقات صناعية مهمة، وأضاف حتى الآن عددا من المصطلحات التي باتت مألوفة لنا من بينها

(*) جدير بالذكر أن الأمريكي جوزيف هنري (1797 - 1878)، الذي كان يشتغل وقتذاك بالتدريس في أكاديمية ألباني في نيويورك، اكتشف الحث الكهرومغناطيسي قبيل فاراداي مباشرة، ولكنه لم ينشر نتائج بحثه، التي لم تكن معروفة في أوروبا في العام 1831.

«الكتروليت» أو محلول كهربائي Electrolyte، والكترود أو قطب Electrode، وأنود أو المصعد (القطب الموجب من البطارية Anode، والكاثود أو المهبط (قطب سالب الشحنة) Cathode، والأيون (ذرة أو مجموعة ذرات ذات شحنة كهربائية) Ion. بيد أنه قدم أيضا مساهمة أساسية في سبيل الفهم العلمي لقوى الطبيعة، وهي الأمر الأوثق صلة بقصتنا الراهنة، على الرغم من أنه ولزمن طويل خص نفسه بمكنون أفكاره فيما يتعلق بهذه الأمور المهمة. واستخدم أول الأمر مصطلح «خطوط القوة (Lines of Force) في بحث علمي له في العام 1831، وطور بذلك مفهوما سائدا في التجارب المألوفة حيث تتناثر برادة الحديد على سطح ورقة فوق قضيب مغناطيسي وتشكل خطوطا منحنية تربط بين القطبين. وجدير بالذكر أن فكرة هذه الخطوط الممتدة إلى الخارج عند صدورها من القطبين المغناطيسيين أو من جسيمات مشحونة كهربيا أفادت إفادة جمة لوضع تصور عن الحث المغناطيسي والكهربي. فإذا كان ثمة موصل في وضع ثابت مستقر بمغناطيس، فإنه يكون ثابتا مستقرا في علاقته بخطوط القوة ولا يتولد تيار. ولكنه إذا تحرك متجاوزا المغناطيس (أو أن المغناطيس يتحرك متجاوزا الموصل، فكلاهما سواء) فإن الموصل يمتد أثره سريعا عبر خطوط القوة في أثناء حركته، وهذا هو الذي يولد التيار في الموصل. وعندما يزيد المجال المغناطيسي على الصفر كما هو الحال في تجربة الحلقة الحديدية فهذه هي الطريقة التي نظر بها فاراداي إلى العملية التي تضمنت خطوط القوة المنطلقة من المغناطيس لتتخذ مواقعها ثم تسري عبر الملف الآخر في الحلقة، مما يؤدي إلى حدوث هزة قصيرة للتيار قبل ثبات نمط خطوط القوة.

وتردد فاراداي بداية في نشر أفكاره هذه، وإن أراد أن يؤكد استحقاقاته بشأنها (تماما مثل داروين الذي تردد فيما بعد في نشر نظريته عن الانتخاب الطبيعي، وإن أراد أن يؤكد أسبقيته). وفي 12 مارس العام 1832 كتب مذكرة وضعها في مظروف مختوم ومؤرخ ومصدق عليه وأودعه في خزانة لدى الجمعية الملكية لفتحه بعد وفاته. ونقرأ في هذه المذكرة الفقرة التالية:

> عندما يؤثر مغناطيس في مغناطيس بعيد أو قطعة حديد بعيدة فإن العلة المؤثرة (والتي يمكن أن أسميها مؤقتا الآن المغناطيسية) تنتقل تدريجيا من الأجسام المغناطيسية، وتحتاج إلى وقت لانتقالها... وأميل إلى مقارنة انتشار القوى المغناطيسية من قطب مغناطيسي بالذبذبات التي تحدث في سطح مياه مضطربة، أو ذبذبات الهواء في ظواهر الصوت: أي بمعني آخر، إنني أميل إلى القول بأن نظرية الاهتزازات Vibratory Theory تنطبق على هذه الظواهر مثل انطباقها على الصوت، ومثل انطباقها على أرجح تقدير على الضوء.

واعتاد فاراداي منذ العام 1832 القول إن القوى المغناطيسية تستغرق وقتا لانتقالها عبر الفضاء (إذ يرفض مفهوم نيوتن بشأن التأثير الفوري من على بعد)، واقترح أن الحركة الموجية متضمنة هنا، بل إنها ذات صلة (وإن بدت خفيفة) مع الضوء. ولكن بسبب خلفيته الدراسية نراه يفتقر إلى المهارات الرياضية اللازمة لتطوير وتعميق هذه الأفكار، ونجد هذا أحد أسباب تردده في نشر أفكاره. ونلحظ من ناحية أخرى أن افتقاره إلى تلك المهارات الرياضية أرغمه على استحداث أوجه التناظر الفيزيائية لكي تجد أفكاره سبيلها إلى المستمعين، مثلما عمل على عرضها على الجمهور في هذه الصورة. بيد أن هذا لم يحدث إلا بعد أن عانى من انهيار عصبي شديد نتيجة الإجهاد والإرهاق الشديدين في العمل خلال ثلاثينيات القرن التاسع عشر. ويبدو أنه اعتقد بعد أن شفي من الانهيار أن العمر لن يمتد به إلى الأبد، وأنه بحاجة إلى أن يترك لذريته ما هو أكثر من مذكراته المودعة في مظروف مغلق ومختوم داخل إحدى قاعات الجمعية الملكية، ولهذا كشف فاراداي عن أفكاره في خطاب له في أمسية من أمسيات يوم الجمعة في المعهد الدولي (والخطاب جزء من برنامج محاضرات اعتاد تقديمها في أواخر عشرينيات القرن التاسع عشر).

كان التاريخ 19 يناير 1844، وقتما بلغ فاراداي الثانية والخمسين من العمر، وتناول حديثه موضوع طبيعة الذرات، وهو الموضوع الذي كان فاراداي شأن غيره يراه مجرد أداة إجرائية موجهة، وإن كان قد فكر فيه

بعمق غيـــر كثيرين من الخصوم المعاصرين المعارضين للفرض الذري. ولم يشـــأ فاراداي معالجة الـــذرة باعتبارها كيانا فيزيقيا يحتل مركز شـــبكة مـــن القوى وتمثل علـــة وجود تلك القوى، وإنما اقتـــرح بدلا من ذلك على مســـتمعيه أن من المعقول أكثر النظر إلى شـــبكة القـــوى على أنها حقيقة واقعية أساســـية وأن الذرات موجـــودة فقط بمنزلة تركزات داخل خطوط القـــوى التي تتألف منها الشـــبكة - أو لنقل بلغتنـــا الحديثة مجال القوة. وأوضح فاراداي أنه لا يحصر تفكيره في الكهرباء والمغناطيســـية. وجدير بالذكر أنه في «تجربة نظرية تأملية» كلاســـيكية طلب من مستمعيه تخيل الشـــمس وحدها في الفضاء. ماذا كان يمكن أن يحدث لو سقطت الأرض فجأة لتحتل مكانا عند المسافة الصحيحة التي تبعدها عن الشمس؟ كيف يتأتي للشـــمس أن «تعرف» بوجود الأرض في مكانها؟ وكيف ستســـتجيب الأرض إزاء وجود الشمس؟ حسب الحجة التي عرضها فاراداي فإن شبكة القوى المقترنة بالشـــمس - أي المجـــال - حتى قبل أن يحتل كوكب الأرض مكانه، سوف تنتشر في كل أنحاء الفضاء، بما في ذلك المكان الذي ستظهر فيـــه الأرض. لذلك فإن الأرض فور ظهورها ســـوف «تعرف» أن الشـــمس موجودة هناك وسوف تستجيب للمجال الذي التقت به. كذلك فإن المجال، فيمـــا يخص كوكب الأرض، هو الحقيقة الواقعة التي تدركها الأرض. ولكن الشـــمس لن «تعرف» أن الأرض وصلت إلى مكانها إلا بعد مرور وقت (لم يكـــن لدى فاراداي من ســـبيل لتخمين مدة هذا الوقـــت) لكي ينتقل تأثير جاذبية الأرض عبر الفضاء (مثل خطوط قوى المغناطيسية وانتشارها من الملـــف عند الارتباط بالبطارية) ليصل إلى الشـــمس. وذهب فاراداي إلى أن خطـــوط القوى المغناطيســـية والكهربية والجاذبيـــة تملأ الكون، وتمثل الحقيقة الواقعة التي تترابط من خلالها الكيانات التي نراها مادية ويتألف منها العالم. معنى هذا أن العالم المادي، ابتداء من الذرات وحتى الشـــمس والأرض (وما وراءهما) هو حصاد عقد موجودة في المجالات المختلفة.

كانت هذه الأفـــكار متقدمة كثيرا عن عصرها حتى أنها لم تحدث أي تأثير العام 1844، على الرغم من أنها تعرض بعناية (من دون الرياضيات) الطريقة الحديثة التي ينظر بها الفيزيائيون النظريون المحدثون إلى العالم.

ولكــن فاراداي عاد في العام 1846 إلى موضوعه الخاص بخطوط القوى أثناء خطاب آخر له في إحدى أمسيات الجمعة. ولكن أفكاره التي عرضها هذه المرة ســوف تؤتي ثمارها خلال عقدين. وعلى الرغم من أن فاراداي قضى وقتا طويلا في إعــداد هذه الأفكار، فإن المصادفة كان لها دور إلى حــد ما، إذ تصادف أن المتحدث الــذي كان من المقرر أن يلقي خطابه في المعهد الملكي يوم العاشــر من أبريل 1846، ويدعى جيمس نابيير، اضطر إلــى إلغاء ارتباطه قبل الموعد المحدد بأســبوع فقــط بحيث لم يكن لدى فاراداي وقت للبحث عن بديل آخر سوى فاراداي نفسه. ورأى فاراداي في ذلك ســببا للسعادة لكي يملأ الفراغ، ولذا قضى جل وقته في ذلك المساء يعرض موجزا لبعض جهود تشــارلز وينستون (1802 - 1875) الذي كان يعمل أســتاذا للفيزياء التجريبية في كنغز كوليج في لندن، وكان ويتستون قــد أجرى، من بين أمور أخرى، دراســة مهمة ومثيرة عن الصوت. ونظرا لأنه خجــول للغاية إزاء إلقاء المحاضرات، فقد أدرك فاراداي أنه ســوف يقــدم جميلا لصديقــه إذ يعرض هو بالنيابة عنــه أعماله. بيد أن عملية العرض لم تســتغرق كل الوقت المتاح، ولهــذا عمد فاراداي في نهاية وقت المحاضرة إلى عــرض المزيد من أفكاره هو عن خطوط القوى. وذهب في هذه المرة إلى أن الضوء يمكن تفســيره في صورة ذبذبات لخطوط القوى الكهربيــة، ويكــون بذلك قد ألغى الحاجة إلى الفكــرة القديمة عن وجود وسيط سائلي (الأثير) لنقل موجات الضوء:

> إن النظرة التي أتجاســر وأعرضها تعتبر الإشعاع نوعا رفيعا من الذبذبة في خطوط القوى التي نعرف أنها تربط، الجسيمات بعضها بالبعض وتربط كذلك كتل المادة بعضها بالبعض. إنها تعمد إلى رفض فكرة الأثير وليس الذبذبات.

واســتطرد فــاراداي ليوضح أن نوع الذبذبات التــي يتحدث عنها هي موجات صغيرة عرضية من جانب إلى الجانب الآخر وتســير على امتداد خطوط القوى، وليســت موجات دفع - جــذب مثل موجات الصوت، وأكد أن هذا الانتشــار يســتلزم وقتا. وذهب في تأملاته إلى أن الجاذبية لا بد أنها تعمل بالطريقة نفسها وتحتاج إلى وقت للانتقال من جسيم إلى آخر.

حافظ فاراداي على نشاطه في أواخر الخمسينيات من عمره وما بعدها، إذ عمل مستشارا للحكومة في مجال تعليم العلم وفي مجالات أخرى. وجدير بالذكر أنه، التزاما بمبادئه الساندمينية، رفض عرضا بمنحه لقب فارس، ورفض مرتين دعوة ليكون رئيسا للجمعية الملكية - هذا على الرغم من أن هذه العروض من شأنها بالضرورة أن تفعم بوهج الدفء قلب الصبي الصناعي الذي عمل في السابق في مجال تجليد الكتب. ومع تدهور قدراته الذهنية عرض استقالته من المعهد الملكي في العام 1861 وهو في السبعين من العمر، غير أن المعهد رجاه البقاء (اسميا) في منصب المراقب. واحتفظ بعلاقته بالمعهد الملكي حتى العام 1865، إلى أن ألقى خطابه الأخير الخاص بأمسية الجمعة يوم 20 يونيو 1862، وهو العام الذي انتقل فيه هو وسارة من شارع البيرمارل إلى بيت آخر في هامبتون كورت منحته له الملكة فيكتوريا تكريما له، بناء على اقتراح الأمير ألبرت. ووافته المنية هناك في 25 أغسطس 1867. وقبل هذا بثلاث سنوات فقط نشر جيمس كلارك ماكسويل نظريته الكاملة عن المغناطيسية الكهربية التي اعتمد فيها مباشرة على أفكار فاراداي عن خطوط القوى، وفسر الضوء ذاته باعتباره ظاهرة مغناطيسية كهربية.

قياس سرعة الضوء

مع استحداث ماكسويل لنظريته عن المغناطيسية الكهربية والضوء توفر لدينا برهان تجريبي إضافي وحاسم (أو لنقل برهان من جزأين مترابطين). ونذكر هنا عالم الفيزياء الفرنسي أرماند فيزو (1819 - 1896)، الذي كان بالمصادفة أول شخص يدرس ظاهرة دوبلر عن الضوء Doppler effect for light، إذ إنه أول قياس رائد حقيقي ودقيق لسرعة الضوء. إذ بعث بشعاع ضوء عبر كوة (مثل الكوى في أبراج الرماية في القلعة) من خلال عجلة دوارة ذات أسنان على امتداد مسار طوله ثمانية كيلو مترات يمتد ما بين قمة تل سورين وقمة تل مونتمارتر ويخرج الشعاع من مرآة ليعود عبر كوة أخرى في العجلة المسننة. وتفيد هذه التجربة فقط حين تدور العجلة بالسرعة الصحيحة. واستطاع فيزو حال معرفته

لسرعة دوران العجلة أن يقيس مدة الزمن الذي استغرقه الضوء ليقطع الرحلة، ومن ثم تقدير سرعته في حدود 5 في المائة من التقدير الحديث. وأوضح فيزو أيضا في العام 1850 أن الضوء ينتقل بسرعة أبطأ في الماء عنه في الهواء، ويمثل هذا تنبؤا رئيسا بالنسبة إلى كل النماذج الموجية للضوء وبدا أشبه بالمسمار الأخير الذي دقه في نعش النموذج الجسيمي الذي تنبأ بأن الضوء، سينتقل في الماء بأسرع من سرعة انتقاله في الهواء. وحري أن نشير إلى ليون فوكو (1819 - 1868)، الذي عمل مع فيزو من أجل التصوير الفوتوغرافي العلمي خلال أربعينيات القرن التاسع عشر (إذ حصلا معا على أول صور فوتوغرافية تفصيلية ودقيقة عن سطح الشمس)، كان معنيا هو الآخر بقياس سرعة الضوء واستحداث تجربة سبق أن وضع تصميمها آراغو (وتعتمد على فكرة وصفها ويتستون). واستعان بداية بجهاز كان قد حصل عليه من آراجو بعد أن كل بصره العام 1850، وتشتمل هذه التجربة على ضوء مرتد من مرآة دوارة إلى مرآة مثبتة ليرتد ثانية ثم يرتد من مرآة دوارة مرة ثانية. وهنا توضح كمية زيغان شعاع الضوء كم تحرك المرآة الدوارة أثناء ارتداد الضوء من المرآة المثبتة. ويعرف أيضا سرعة دوران المرآة التي تعطينا سرعة الضوء. وعكس فوكو في العام 1850 النهج الذي اتبعه فيزو إذ استخدم فوكو أولا منهج فيزو ليوضح (قبل أن يستخدمه فيزو بوقت قليل جدا) أن الضوء ينتقل في الماء بسرعة أبطأ قليلا من سرعته في الهواء. ثم قاس سرعة الضوء. وفي العام 1862 شذب وصقل التجربة كثيرا جدا بحيث إنه توصل إلى أن السرعة 298.005 كم/ ث في حدود واحد في المائة من التقييم الحديث (وهو 299.792.5 كم/ث). وتبين أن هذا القياس الدقيق لسرعة الضوء غير ذي قيمة في سياق نظرية ماكسويل.

وماكسويل سليل أسرتين إسكوتلنديتين بارزتين، وعلى قدر معتدل من الثراء، هما آل ماكسويل أوف ميديلبي، وكلاركس أوف بينكويك، وارتبطت الأسرتان من خلال زيجتين متداخلتين في القرن الثامن عشر. وتعرف أن ممتلكات ميديلبي (نحو 1500 فدان من الأرض الزراعية قرب داالبيتي في غالوواي، في الركن الجنوبي الغربي من إسكوتلندا) هي التي آلت إلى

أب ماكسويل ويدعى جون كلارك، ومن ثم أصبح يلقب باسم ماكسويل نتيجة لذلك. كذلك فإن ممتلكات آل بينكويك ورثها جورج، الأخ الأكبر لجون كلارك (وتم تحديد وترتيب الإرث بشكل قانوني بحيث لا تؤول ممتلكات الطرفين إلى شخص واحد)، ويدعى سير جورج كلارك، وقد كان عضوا بالبرلمان عن ميدلوثيان وخدم في الحكومة تحت رئاسة روبرت بيل. ولم يكن ميراث ميديلبي وفيرا، إذ تألف من أرض فقيرة ويعوزها بيت ملائم لسكنى مالكها، وعاش جون كلارك ماكسويل أغلب أوقاته في إدنبره يمارس مهنة المحاماة بين الحين والآخر، بيد أنه كان معنيا أكثر بمتابعة أحدث إنجازات العلم والتكنولوجيا (اللذين كانا، كما شاهدنا، متوافرين بكثرة في إدنبره خلال العقود الأولى من القرن التاسع عشر). وتزوج في العام 1824 بفرنسيس كاي، وتحصل بذلك على بيت مبني في ميديلبي، وأقام هناك وعمل على تحسين الأرض وأزال الصخور التي تغطي الحقول لكي يعدها للزراعة.

ولد جيمس كلارك ماكسويل في 13 يونيو 1831 - لم يولد في غالوواي، بل في إدنبره، حيث قصدها الأبوان لضمان رعاية طبية جيدة عند الولادة. وكان هذا أمرا غاية في الأهمية خصوصا أن السيدة ماكسويل كانت قد ناهزت الأربعين من عمرها وسبق أن توفي طفل لها، بنت تدعى إليزابيث، قبل عامين بعد ولادتها ببضعة أشهر. ونشأ جيمس، الذي ظل طفلا وحيدا، في البيت الجديد حيث اعتاد اللعب واللهو مع أقرانه في المنطقة، وترعرع وعلى لسانه لكنة غالاوالي، على الرغم من أجداده الأرستقراطيين نوعا ما. ونعرف أن دالبيتي تقع بعيدة وسط الغابات عندما كان جيمس طفلا - على الرغم من أن غلاسكو تبعد فقط 110كم، أي مسيرة رحلة ليوم كامل، بينما إدنبره تقع على بعد مسيرة يومين قبل افتتاح خط سكك حديد غلاسكو - إدنبره العام 1837. وجدير بالذكر أن الحاجة إلى إزالة الأحجار الضخمة من الحقول قبل الشروع في الزراعة تذكرنا بأن وضع عائلة ماكسويل يشبه كثيرا حال أسرة من الأسر الرائدة في الولايات المتحدة وقتذاك، وليس مثل حال أسرة إنجليزية تعيش على بعد بضعة كيلو مترات من برمنغهام.

توفيت أم ماكسويل بمرض السرطان وهي في الثامنة والأربعين، بينما كان لا يــزال في الثامنة من عمره، وزال عنه بموتها تأثير يقيد تطوره وفق أســاليب حياته الخرقــاء. وجمعت بينه وبين أبيه علاقــة وثيقة، إذ اعتاد الأب تشــجيع فضول ابنه لمعرفة العالم ورغبته في تنمية عقله، ولكن كانت لديــه بعض الأفكار الشــاذة والغريبة، من بينها وضع رســوم وتصميمات على ملابســهم وأحذيتهم على نحو قد يبدو عمليــا ولكنه ليس يقينا من قبيل الأناقة والاقتداء بالموضة. ولكن الشائبة السوداء الوحيدة في غلينلير تمثلت في وجود معلم خاص شاب (لا يكاد يزيد عن كونه صبيا) استخدمته الأســرة لتعليم جيمس خلال الفترة الأخيرة من مرض الأم. ويبدو أن هذا المعلم حاول حرفيا أن يحشو المعارف قسرا في رأس الصبي، واستمر هذا الوضع نحو سنتين، بينما رفض جيمس في عناد أن يشكو لأبيه بسبب هذه المعاملة. ولكن حين بلغ جيمس العاشرة أرسلته الأسرة إلى أكاديمية إدنبره ليتلقى تعليما صحيحا وعاش هناك مع إحدي خالاته خلال فترة الدراسة.

وصل الصبي بعد بداية الفترة الدراسية وظهر في الأكاديمية بملابس غيــر مألوفة ويتحدث بلكنة الريف، ممــا أثار، كما هو متوقع، ردود أفعال مــن الصبية الآخريــن. ووقعت بعــض المواجهات في بدايــة الأمر ليأتي حسمها عن طريق الشــجار والمضاربة، ولصقت بماكسويل كنية «المجنون» التي أطلقوها عليه في إشــارة إلى مظهره وسلوكه الغريبين، وليس بقصد الإشــارة إلى افتقــاره للعقل. وأقام بعــض الصداقات الحميمــة، وتعلم التســامح مع الآخرين، واستمتع بزيارات أبيه إلى إدنبره الذي اعتاد كثيرا اصطحاب الفتى جيمس لحضور بعض الشروح والبراهين العلمية - وشهد وهو في الثانية عشــرة شروحا وبرهانا على ظواهر كهرومغناطيسية، كما حضــر مع أبيه في العام نفســه أحد لقاءات الجمعيــة الملكية في إدنبره، وكشف ماكسويل خلال بضع سنين عن قدرات رياضية غير مألوفة، وابتكر وهو في الرابعة عشــرة طريقة لرسم شكل بيضاوي (وليس قطعا ناقصا) مســتخدما قطعة خيط على شكل حلقة. وعلى الرغم من أنه ابتكار أصيل فإنه لم يكن عمليا بالإنجاز الذي يزلزل الأرض. واســتطاع جيمس بفضل اتصالات كلارك ماكســويل أن ينشــر إنجازه هذا ضمن محاضر جلسات

الجمعية الملكية في إدنبره - مما يعد باكورة أبحاثه العلمية، وفي العام 1847، وبينما ماكسويل في السادسة عشرة من العمر (وهذه هي السن العادية للالتحاق بجامعة إسكوتلندية)، انتقل إلى جامعة إدنبره حيث درس لمدة ثلاث سنوات، ولكنه تركها قبل التخرج منها والتحق بجامعة كيمبريدج (ذهب أولا إلى بيترهاوس، ثم انتقل إلى جامعة ترينتي، وهي الجامعة القديمة التي درس فيها نيوتن، وذلك في نهاية الفترة الدراسية الأولى)، وتخرج في كيمريدج في العام 1854. وحيث إن ماكسويل كان تلميذا متميزا فقد أصبح زميلا لـ «ترينتي» غير أنه بقي هناك حتى العام 1856، حين أصبح أستاذا للفلسفة الطبيعية في ماريسكال كوليج في أبردين.

وجدير بالإشارة أن هذه الفترة الوجيزة التي قضاها ماكسويل كزميل لكيمبريدج كانت طويلة بما يكفي لكي ينجز فيها عملين مهمين - أحدهما يمثل تطويرا لجهود يونغ عن نظرية الإبصار اللوني، والذي بين فيه كيف أن ألوانا أساسية محدودة يمكن أن «تمتزج» معا لتخدع العين بأنها تبصر ألوانا كثيرة مختلفة (والتجربة الكلاسيكية لإثبات ذلك مع أقسام مختلفة لرأس مغزل ذي ألوان مختلفة، بحيث تمتزج الألوان بعضها ببعض عند دوران رأس المغزل)، والثاني ورقة بحث مهمة بعنوان «عن خطوط القوى عند فاراداي»، والتي أوضحت على نحو شامل كم هو المعروف عن الكهرومغناطيسية وكم هو الباقي الذي يلزم اكتشافه، والتي تمثل حجر الأساس لدراساته فيما بعد. ولقد كانت جهود ماكسويل في مجال الإبصار اللوني (والتي طورها أكثر خلال السنوات التالية) الأساس لطريقة عمل صور ملونة، وذلك عن طريق جمع صور أحادية اللون يتم تصويرها من خلال ثلاث مرشحات مختلفة (الأحمر والأخضر والأزرق)؛ ويمثل إنجازه هذا أيضا الأساس للنظام المستخدم في التلفاز الملون وشاشات العرض للحاسوب اليوم، وكذلك في الطابعات التي تستخدم نظام نفاثات الحبر الملون.

وتوفي أبو ماكسويل يوم 2 أبريل 1856، قبيل تولي جيمس منصبه في أبردين. ولكنه لم يبق وحيدا لفترة طويلة، ذلك أنه في العام 1858 تزوج بكاترين ماري ديوار ابنة عميد الكلية، وكانت تكبره بسبع سنوات. ولم ينجبا

أطفالا، ولكن كاترين عملت كمساعدة لماكسويل في أغلب مجالات عمله. الرابطة الأسرية أثبتت أنها غير ذات نفع، ولكن في العام 1860، اتحدت ماريسكال كوليج مع كنغز كوليج في أبردين (وشكلا النواة لما سيصبح فيما بعد جامعة أبردين). وكانت المؤسسة الموحدة الجديدة بحاجة إلى أستاذ واحد فقط للفلسفة الطبيعية، ونظرا إلى أن ماكسويل هو الأحدث بالنسبة إلى زميله في كنغز كوليج (والذي تصادف أنه ابن خال فاراداي، وإن لم يكن لهذا أي تأثير في الاختيار) فقد كان لا بد له أن يترك المكان. ولقد كان أهم وأقيم عمل أنجزه ماكسويل في أبردين هو دراسة نظرية عن طبيعة حلقات الكوكب زحل، حيث أثبت أن هذه الحلقات مؤلفة بالضرورة من كم كبير من الجسيمات الصغيرة أو الأقمار الصغيرة «القميرات»، كل منها في فلكه حول الكوكب وليس جسيما صلبا. ويبدو أن الاحتمال الأكبر أن المعالجة الرياضية للكثير من الجسيمات اللازمة للبرهنة على ذلك ساعدت على مضي ماكسويل على الطريق لإنجاز إسهاماته في النظرية الحركية التي ذكرناها في الفصل السابق، ونعرف أن اطلاعه على أعمال كلازيوس هو الذي أثار اهتمامه بذلك. وجدير بالذكر أنه عندما أرسلت مجسات الفضاء صورا ملونة عن حلقات الكوكب زحل إلى الأرض في أواخر القرن العشرين، استخدمت في ذلك تقنية ماكسويل ثلاثية الألوان لتزويدنا بصور عن الأقمار الصغيرة، التي تنبأ بها ماكسويل - وأرسلت إلينا الصور عن طريق موجات الراديو، وهذا تنبؤ آخر (كما سنري فيما بعد) تنبأ به ماكسويل.

نظرية جيمس كلارك ماكسويل الكاملة عن الكهرومغناطيسية

عاد ماكسويل وزوجته مباشرة من أبردين إلى غلينلير، حيث عانى من نوبة إصابة بالجدري، ولكنه شفي سريعا ليجد الفرصة متاحة للتقدم بطلب لشغل منصب أستاذ الفلسفة الطبيعية والفلك في كنغز كوليج في لندن وحصل على المنصب بالفعل. وأكمل هناك عمله العظيم عن النظرية الكهرومغناطيسية، بيد أنه اضطر إلى الاستقالة من منصبه، بسبب اعتلال صحته ذلك أنه أثناء سيره في الطريق بمركبته اصطدم رأسه

صدمــة عنيفة بفرغ شــجرة وأدى الجرح إلى إصابتــه إصابة عنيفة بداء الحمرة erysipelas وهو مرض يسبب حالة التهاب (نعرف الآن أنه يحدث نتيجة عدوى بالمكورات العقدية Streptococcal) وأعراضه صداع شــديد وقيء وظهور بقع أرجوانية على الوجه. وهناك من يرى أن شدة هذه النوبة ربما تكون مرتبطة بنوبة الجدري التي أصابته سابقا.

ظل إنجاز ماكســويل العظيم يختمر لمدة تقارب العشــر ســنوات منذ بداية اهتمامــه بخطوط القوى عند فاراداي. وســبق أن اكتشــف وليام تومســون في أربعينيات القرن التاســع عشر تناظرا رياضيا بين طريقة سريان الحرارة خلال جسم صلب وبين الأنماط التي تســببها القوى الكهربائية. التقط ماكسويل هذه الدراسات وبحث عن مظاهر تناظر مماثلة، وتواصل مع تومسون من خلال سلسلة رسائل ساعدته على توضيح أفكاره. واتساقا مع هذا النهج، توصل ماكسويل إلى نموذج وســطي مؤسس على فكرة تبدو لنا الآن شــديدة الغرابة تنتقل فيها قوى الكهرباء والمغناطيســية بتأثير تفاعلات الدوامات التي تدور في ســائل يملأ كل الفضاء. غير أن غرابة هذا النموذج الفيزيقي لم تحل دون تطور أفكاره، ذلك لأن جميع هذه التصورات الفيزيقية، حســبما عقب ماكسويل عن صواب، أقل أهمية من المعادلات الرياضية التي تصف ما يحدث، وكتب في العام 1864:

> ينبغــي عــرض الحقيقــة العلميــة علــى ذوي أنماط العقــول المختلفــة، في صور مختلفة ومن ثــم ينبغي النظر إليها باعتبارها متســاوية علميا، سواء ظهرت بمظهر غير مصقــول وواضحة المعالم من حيث التعبيــر الفيزيائي، أو بدت في صورة تعبير رمزي ضعيف باهت (*).

ولعل هذا يمثل أهم ما كتبه ماكســويل علــى الإطلاق. إذ مع تطور العلم (خاصة نظرية الكوانتم quantum Theory) في القرن العشرين، بدا واضحا أكثر فأكثر أن التصورات والأنماط الفيزيقية التي نستخدمها كمحاولة لصوغ صورة لما يحدث في نطاقات أكبر تتجاوز قدرات حواسنا ما هي إلا دعامات لخيالنا، وأن كل ما نســتطيع قوله هو أنه في ظروف بعينها تســلك ظاهرة

(*) البحث العظيم الذي كتبه ماكســويل في العام 1864، وكذا غالبية أبحاثه العلمية، يمكن أن نجدها في «الأوراق العلمية لجي كلارك ماكسويل» The Scientific Papers of J.Clerk Maxwell [انظر المراجع].

بذاتها «وكأنها»، مثلا، وتر يتذبذب وليســت هي فعــلا وترا يتذبذب (أو أي شيء آخر). وثمة ظروف، كما سوف نرى فيما بعد، يكون من الممكن فيها أن يستخدم أفراد مختلفون نماذج مختلفة لتصور الظاهرة نفسها، ولكن سيكون لكل منهم سبيله للتوصل إلى التنبؤات نفسها تأسيسا على الرياضيات، وبيان كيفية اســتجابة الظاهرة إزاء منبهات محددة. وإذ نستطرد قليلا في قصتنا ســوف نجد أنه على الرغم من صواب قولنا إن الضوء يســلك سلوك الموجة في ظروف كثيرة (خاصة عند الانتقال من أ إلى ب)، فإنه في ظروف أخرى يسلك كأنه سيال من جسيمات دقيقة، مثلما قال نيوتن تماما. نحن لا نستطيع القول إن الضوء موجة أو جسيم، إنما نقول فقط إنه في ظروف معينة يكون مثل موجة أو مثل جسيم. وثمة تناظر آخر، اعتمادا على علم القرن العشرين أيضا، يمكن أن يساعدنا على توضيح الفكرة. كثيرا ما يسألني البعض إذا ما كنت أومن حقيقة بحدوث ما نسميه «الانفجار العظيم» Big bang، والإجابة المفضلة عنــدي هي أن الدليل الذي بين أيدينا يتســق مع الفكرة القائلة إن الكون كما نشــاهده اليوم تطــور من حالة حارة وكثيفــة (الانفجار العظيم) منذ حوالي 13 بليون سنة. وحسب هذا الفهم فإنني أومن بحدوث الانفجار العظيم. بيد أن هذا يختلف عن الإيمان، كمثال، بوجود نصب تذكاري ضخم لهوراتيو نلســون في ميدان ترافلغار. إذ إنني شاهدت هذا النصب التذكاري ولمســته بيدي؛ ومن ثم أومن بأنه هناك. إنني لم أشــاهد ولم ألمس الانفجار العظيــم، ولكن نموذج الانفجار العظيم هو الوســيلة الأفضــل التي أعرفها لتصور كيــف كان الكون في الماضي البعيد. هذا علاوة على أن تلك الصورة تتسق مع الملاحظات المتاحة والحسابات الرياضية التي بين أيدينا (*). وتمثل هذه جميعا نقاطا مهمة على مدى الطريق ونحن ننتقل من العلم الكلاسيكي عند نيوتن (الذي يتعامل، بشــكل عام، مع الأشــياء التي نراها ونلمســها)، وصولا إلى أفكار القرن العشرين (التي تتعامل، بمعنى من المعاني، مع أشياء لا نستطيع رؤيتها أو لمسها). لذلك فإن النماذج مهمة وعامل مساعد. ولكنها ليست هي الحقيقة؛ ومن ثم فإن الحقيقة العلمية كامنة في المعادلات. وهذه المعادلات هي الشيء المهم الذي توصل إليه ماكسويل.

(*) وهنــاك نــوع ثالث للاعتقاد، وهو ما نجده في بعض الديانــات التي تقدم قصة كاملة تكون محل إيمان كامل من دون دليل وبرهان.

ونشر خلال العامين 1861 و1862 مجموعة من أربعة أبحاث بعنوان «عن خطوط القوى الفيزيائية»، والتي كانت لا تزال تستخدم صورة الدوامات ولكنها تعرض، من بين أمور أخرى، كيفية انتشار الموجات في مثل هذه الظروف. ورأى أن سـرعة حركة هذه الأمواج تتوقف على خواص الوسط. ورأى ماكسويل أن الوسط من شأنه أن ينقل الموجات بسرعة الضوء حال توافر الخواص الملائمة في اتساق مع ما هو معروف آنذاك عن الكهرباء والمغناطيسية. ويتجلى لنا بوضوح شعوره بالدهشة لهذا الاكتشاف من خلال كلماته هو في أحد أبحاثه العام 1862، حيث يؤكد أهمية الاكتشاف بوضع خط تحت الكلمات التي تقول: «نادرا ما نستطيع تجنب استنتاج أن الضوء رهن التموجات المستعرضة للوسط نفسه الذي هو علة الظواهر الكهربية والمغناطيسية».

الضوء صورة من صور الاضطراب الكهرومغناطيسي

ما أن شذب ماكسويل الجانب الرياضي لنظريته حتى وجد أن بإمكانه التخلي عن فكرتيه عن الدوامات والوسيط المفترض معا. وساعدته الصورة الفيزيائية على صياغة المعادلات، ولكن بمجرد أن فرغ من صياغتها أضحت راسخة وحدها - وبدا التناظر الواضح أشبه بكاتدرائية ضخمة من كاتدرائيات العصور الوسطى معتمدة على سقالة خشبية آيلة للسقوط، ولكنها تقف وحدها شاخصة بمجدها من دون أي دعم خارجي فور إزالة السقالة. وفي العام 1864، نشر ماكسويل بحثه تحت عنوان «نظرية دينامية عن المجال الكهرومغناطيسي»، والذي يلخص كل ما يمكن قوله عن الكهرباء والمغناطيسية الكلاسيكيتين في مجموعة من أربع معادلات، والمعروفة لنا الآن باسم معادلات ماكسويل. إن كل مشكلة تتعلق بالكهرباء والمغناطيسية يمكن حلها باستخدام هذه المعادلات، فيما عدا بعض الظواهر الكوانطية. بما أن مجموعة واحدة من المعادلات توفر حلا لجميع المشكلات الكهربية والمغناطيسية، فقد عمد ماكسويل أيضا إلى ما سبق أن ألمح إليه فاراداي لأول مرة، وهو إمكانية توحيد قوتين في حزمة واحدة حينما توجد الكهرباء والمغناطيسية، وهكذا أصبح هناك مجال واحد وهو المجال الكهرومغناطيسي. كل هذه الإنجازات كانت سببا في

أن احتل ماكسويل مكانه إلى جوار نيوتن في مقام العلماء العظام. وهكذا نجد قوانين نيوتن ونظريته عن الجاذبية وكذا معادلات ماكسويل تفسر كل شيء معروف لنا في مجال الفيزياء مع نهاية ستينيات القرن التاسع عشر. ولا ريب في أن إنجاز ماكسويل يمثل أعظم إنجاز في الفيزياء منذ كتاب نيوتن البرنكيبيا. ونجد قدرا من السكر يغطي وجه الكعكة، إذ تشتمل المعادلات على ثابت، هو C، والذي يمثل سرعة حركة الموجات الكهرومغناطيسية، ويرتبط هذا الثابت بخواص كهربية ومغناطيسية للمادة يمكن قياسها. ويقول ماكسويل فيما يتعلق بتجارب قياس هذه الخواص «إن الاستخدام الوحيد للضوء... كان لرؤية الأدوات». ولكن الرقم حاصل التجارب (قيمة C) كان، في حدود الخطأ التجريبي، هو تماما رقم سرعة الضوء ذاتها (الذي أصبح محددا).

> هذه السرعة هي إلى حد قريب جدا سرعة الضوء بحيث يبدو أن لدينا سببا قويا لكي نستنتج أن الضوء ذاته (بما في ذلك الحرارة المشعة وغيرها من إشعاعات إن وجدت) هو اضطراب كهرومغناطيسي في صورة موجات تنتشر عبر المجال الكهرومغناطيسي وفقا لقوانين الكهرومغناطيسية»(*).

وحري أن نوضح هنا أهمية الإشارة إلى «الإشعاعات الأخرى»، إذ تنبأ ماكسويل إلى احتمال وجود أشكال أخرى من الموجات الكهرومغناطيسية ذات أطوال موجات أطول كثيرا من طول موجة الضوء المرئي - وهي ما نسميها اليوم الموجات الإشعاعية Radio Waves. وجدير بالذكر أنه في أواخر ثمانينيات القرن التاسع عشر أجرى عالم الفيزياء الألماني هينريش هيرتز (1857 - 1894) تجارب أكدت وجود هذه الموجات، وأوضح أنها تنتقل بسرعة الضوء، وأنها مثل الضوء تنعكس وتحيد وتتكسر.

وهكذا تمثل برهان إضافي يؤكد صواب نظرية ماكسويل عن الضوء وأن المعادلات والبرهان التجريبي بقدر ما لهما من قوة الحجة والإقناع فإنهما حسب تقدير وتقييم ماكسويل أدوات تساعدنا على امتلاك نموذج قوي

(*) ماكسويل - المصدر نفسه.

الدلالة والوضوح للتفكير فيه - مع إدراكنا أن النموذج ليس حقيقة واقعة، بل هو مجرد مفترض ذهني Construct يساعدنا على صوغ صورة لما يحدث. ومن ثم ففي مثل هذه الحالة يكون أحد سبلنا لتصور انتشار الضوء (أو أي إشعاع كهرومغناطيسي آخر) أن نتصور حبلا ممتدا قابلا للاهتزاز عند أحد طرفيه. ولنتذكر ما اكتشفه فاراداي من أن مجالا مغناطيسيا متحركا يخلق مجالا كهربيا، وأن مجالا كهربيا متحركا يخلق مجالا مغناطيسيا. وإذا تخيلنا الطاقة تودع عن طريق اهتزاز الحبل (ما يعادل إيداع الطاقة في مجال كهرومغناطيسي عن طريق جعل تيار يسري أولا في اتجاه ما ثم في الاتجاه الآخر في سلك طويل أو منظومة هوائي antenna system)، فإنك تستطيع بذلك أن ترسل موجات صغيرة على امتداد الحبل. ولك أن تهز الحبل إلى أعلى وإلى أسفل لكي تكون الموجات رأسية، وأن تهزه يمينا ويسارا لتكون الموجات رأسية. وتفيدنا معادلات ماكسويل، من بين أمور أخرى كثيرة، أن الرقرقات، أي التموجات السطحية الكهربية والمغناطيسية المتكافئة في موجة كهرومغناطيسية، تكون في زوايا قائمة بالنسبة إلى بعضها - فإذا افترضنا أن الموجات الكهربية رأسية فإن الموجات المغناطيسية تكون أفقية. كذلك نجد عند أي نقطة على امتداد مسار الموجة (امتداد الحبل) أن المجال الكهربي في تغير مستمر مع اطراد مرور الموجات. ولكن هذا يعني أن هناك بالضرورة مجالا مغناطيسيا متغيرا، باطراد ناتجا عن المجال الكهربي. ولهذا فإنه عند أي نقطة على امتداد مسار الموجة يوجد دائما مجال مغناطيسي متغير والذي يتسبب في حدوث مجال كهربي متغير باطراد. وتسري مجموعتا الموجات على امتداد المسار في تلازم، مثل شعاع ضوء (أو موجات اشعاعية)، معتمدة على طاقة يغتذي بها مصدر الإشعاع.

بعد أن فرغ من عمله العظيم - آخر عمل عظيم في العلم الكلاسيكي حسب التقليد النيوتوني - استقر ماكسويل (الذي لم يتجاوز الخامسة والثلاثين من العمر) في غالواي مستسلما لحياة هادئة مريحة، وظل على اتصال دائم بالكثيرين من أصدقائه العلماء عن طريق المراسلات، وعكف على تأليف كتاب عظيم بعنوان «رسالة عن الكهرباء والمغناطيسية»، الذي صدر في مجلدين العام 1873. واعتذر عن عروض كثيرة لشغل مناصب أكاديمية ذات

مكانة وشـأن كبيرين، ولكن استهوته العودة إلى كيمبريدج العام 1871، عندما رجته الجامعة أن يكون أول أستاذ للفيزياء التجريبية يحمل اسم كافنديش، فضلا عن (وهو الأهم كثيرا) أن يقيم ويرأس معمل كافنديش(*). وقد افتتحه العام 1874. وامتد العمر بماكسويل ليترك بصمته على المعمل الذي أصبح أهم مركز أبحاث في مجال الاكتشافات الفيزيائية الحديثة على مدى العقود العلمية الثورية التالية. ولكن ألم به مرض عضال في العام 1879، وتوفي في الخامس من نوفمبر من هذا العام بسبب هذا المرض، الذي أودى أيضا بحياة أمه (السرطان)، وفي عمر الأم أيضا (48 عاما). وخلال هذا العام نفسه، وفي يوم 14 مارس، شهدت مدينة أولم في ألمانيا ميلاد الشخص الذي سيكون أول من يشهد النتائج الكاملة لمعادلات ماكسويل. كان اسمه، طبعا، ألبرت آينشتين.

بدأ ارتباط آينشتين، بشكل ما، بعالم الكهرومغناطيسية في العام التالي لميلاده، وذلك حين انتقلت الأسرة إلى ميونخ. وهناك تكاتف أبوه هيرمان مع عمه جيكوب (مع مساعدة مالية من أسرة بولين أم ألبرت) لإقامة مشروع هندسة كهربائية - وهذا مثال جيد يوضح كيف أن اكتشافات فاراداي تحولت وقتذاك إلى مجال الاستخدام العملي. تمثل الشركة من الناحية التقنية نجاحا ملحوظا، إذ كان يعمل بها في أحد الأوقات 200 شخص، وتولت مهمة تركيب النور الكهربائي في المدن الصغيرة، ولكنها ظلت دائما تعاني من نقص التمويل، وانتهى الأمر بها إلى الفشل من جراء عمالقة الصناعة الكهربائية الألمانية، من مثل سيمنس وشركة أديسون الألمانية، وقد استسلموا للهزيمة في العام 1894. وبحث الأخوان عن بيئة ملائمة لمشروع جديد وانتقلا إلى شمال إيطاليا، حيث نفذت شركتهما في السابق عقد عمل، ولكنهما لم يحققا سوى نجاح متواضع. وكان من بين نتائج هذه النقلة أنهما تركا ألبرت، الذي ناهز الخامسة عشرة من العمر، ليكمل تعليمه في ألمانيا وفق نظام التعليم الألماني.

ولم تكن هذه فكرة صائبة. ذلك أن ألبرت كان فتى ذكيا ذا عقل مستقل التفكير لا يلائمه نظام التعليم في بلده ألمانيا الذي توحد حديثا، ويعتمد على نظام صارم، ويخضع لتقليد بروسي عسكري يشتمل على الخدمة العسكرية الإلزامية لجميع الفتيان. ونحن لا نعرف بوضوح كيف دبر آينشتين فصله

(*) وأشرف أيضا على تحرير: «الأعمال الكهربية غير المنشورة للمبجل هنري كافنديش» The Unpublished Electrical Writing of the Honorable Henry Cavendish، والصادر في العام 1879.

من المدرسة الثانوية؛ وتفيد بعض الروايات بأن المدرسة فصلته بعد فترة من السلوكيات الثورية، بينما تفيد روايات أخرى أنه دبر الأمر كله طواعية وبتفكيره الخاص. وأيا كان الأمر فإنه أقنع طبيب العائلة بأن يشهد بأنه كان يعاني اضطرابا عصبيا استلزم راحة كاملة، وتسلح بهذه الشهادة لينطلق ويلحق بالأسرة (أبواه وأخته مايا الصغري، شقيقته الوحيدة)، ليصل إلى إيطاليا في مطلع العام 1895. وتنازل عن مواطنته الألمانية (إذ هذه هي السبيل الوحيدة لتجنب الخدمة العسكرية)، وقضى بعض الوقت يعمل في مؤسسة الأسرة، بينما قضى وقتا أطول مستمتعا بمباهج إيطاليا قبل انعقاد امتحانات الدخول للالتحاق بالمعهد الفدرالي السويسري للتكنولوجيا في زيورخ، (The Eidgenössischo Technische Hochschule - ETH)، حيث يمكنه الحصول على درجة علمية - وهذه ليست درجة علمية متميزة شأن الدرجات العلمية التي تمنحها الجامعات الألمانية الكبرى، ولكنها على الأقل مؤهل يؤهله علميا. وفي خريف العام 1895 كان ألبرت أصغر من سن الالتحاق المعتاد بالمعهد بثمانية عشر شهرا كاملة، هذا فضلا عن أنه ترك المدرسة الثانوية بدون أي دبلومة، سوى رسالة كتبها إحدى معلميه يشهد فيها بقدراته في الرياضيات. ونحن إزاء هذا الوضع لن ندهش كثيرا إذ أخفق في امتحان الالتحاق بالمعهد، وإن بدا الأمر صدمة للفتى. قضى ألبرت عاما في مدرسة ثانوية سويسرية في آرو جنوب زيورخ، وبعد هذا العام التحق أخيرا بالمعهد الفدرالي السويسري للتكنولوجيا في العام 1896. وتبين بعد ذلك أنها كانت من أسعد سنوات حياته، إذ سكن مع عميد المدرسة يوست وينتلر، الذي سهر على راحته، كما كون صداقات امتدت طوال العمر من بين أعضاء أسرة وينتلر (وتزوجت ماجا أخت ألبرت ابن يوست وينتلر، ويدعى بول).

وجدير بالذكر أن آينشتين، وإن تظاهر بدراسة الرياضيات والفيزياء في زيورخ، استمتع بكأس الحياة حتى الثمالة (ووصل الأمر إلى حد أن صديقته ميليفا ماريك حملت منه وتبنى الطفل غير الشرعي)، وأنجز الحد الأدنى من العمل المطلوب منه إرضاء لمعلميه بينما، اعتاد التوسع في القراءة والدراسة خارج المقرر الدراسي. وتحلى بثقة كاملة بقدراته دائما، ولهذا توقع أن يحقق نتائج باهرة في امتحاناته النهائية، والحصول على وظيفة في المعهد

السويسري ذاته، أو في إحدى الجامعات. ولقد أدى، في الحقيقة، امتحاناته بنجاح، تخرج في يوليو 1900، ولكن ليس بمستوى النبوغ الكافي للتغلب على إحجام الأساتذة عن توظيف شخص يرونه غير ملائم مزاجيا لأداء عمل جاد وشـــاق. وهذا هو السبب في أن آينشـــتين انتهى به الأمر للعمل كاتب براءات اختـــراع في بيرن في العـــام 1905، كان قد تزوج بميليفـــا في العام 1903، ولديه طفل ذكر اســـمه هانز ألبرت، مولود يـــوم 14 مايو 1904 (وطفل ثان شرعي، اسمه إدوار، والمولود يوم 28 يوليو 1910).

ويمثل موضوع ثبات ســـرعة الضوء حجر الأســـاس في نظرية النســـبية الخاصة لآينشتين والمنشورة في العام 1905، ومع حلول الوقت الذي استحدث فيه نظريته، توافر دليل تجريبي يؤكد أن قياس سرعة الضوء ثابتة دائما من دون اعتبار لحركة الشخص القائم بالقياس. ولكن من الأهمية بمكان أن نعرف ونقدر أن آينشتين، وإن كان على معرفة بهذا كله، فإنه لم يتأثر به. إن الشيء الذي تميز به نهج آينشتين في معالجة المشكلة هو أنه انطلق بداية من معادلات ماكسويل. وتشتمل المعادلات على ثابت C، والذي يحدد سرعة الضوء. ولكـــن المعادلات لم تتضمـــن شـــرطـــا، فيـــما يتعلق بتحديد C، يقضي بأن نضع في الاعتبار كيفية حركة المشـــاهد بالنسبة إلى الضوء. وتفيد معادلات ماكسويل بأن جميع المراقبين سيصلون في قياسهم إلى سرعة واحدة للضوء، C، سواء أكانوا ســـاكنين ثابتين أم متحركين تجاه مصدر الضوء أو متحركين بعيدا عن مصدر الضوء (أو متحركين من أي زاوية وســـط شـــعاع الضوء). ويمثل هذا تحديا لكل من الحس العام وطريقة تضاعف الســـرعات في ميكانيكا نيوتن. فإذا كانت هناك سيارة تتحرك في اتجاهي على امتداد طريق مستقيم بسرعة 100 كم في الســـاعة، بينما أقود أنا سيارة في الاتجاه المعاكس بسرعة 50 كم في الساعة، فإن الســـيارة القادمة تقترب مني بسرعة نسبية قدرها 150 كم في الساعة؛ وإذا كنت أقود بسرعة 50 كم/، والسيارة الأخرى منطلقة أمامي مباشـــرة وفي الاتجاه نفسه بســـرعة 100 كم/س فإن السيارة الأخرى تسير بالنسبة إلي بســـرعة 50 كم/س. ولكن معادلات ماكسويل تقضي بأنه في أي من الحالين فإن سرعة الضوء الآتية من المصابيح الأمامية أو الخلفية للسيارة الأخرى هي دائما C، ســـواء بالنسبة إلي وبالنسبة إلى سائق السيارة الأخرى

(وفي الحقيقة بالنسبة إلى أي مشاهد في الطريق). وغني عن البيان أننا لا نكاد نفكر في الأمر حتى يبدو واضحا أن قوانين الحركة عند نيوتن ومعادلات ماكسويل لا يمكن أن يكون كلاهما صوابا. وجدير بالذكر أن الغالبية العظمى ممن فكروا في هذا قبل 1905 ذهبوا إلى أن ثمة شيئا ليس صوابا تماما بالضرورة فيما يتعلق بنظرية ماكسويل، اللاعب الجديد في الساحة. ونعرف أن آينشتين كان بطبيعته مناهضا للرموز التقليدية، ولديه الجرأة على افتراض البديل - أي أن ماكسويل على صواب وأن نيوتن، على الأقل في هذه الحالة تحديدا على خطأ. وكان هذا هو الأساس الذي بنى عليه فكرته الثاقبة. ولكن لا بأس من أن نتأمل الدليل التجريبي أيضا، الذي يؤكد لنا بوضوح وبكل المعايير مدى صواب ماكسويل.

ألبرت مايكلسون وادوارد مورلي:

تجربة مايكلسون ومورلي عن الضوء

على الرغم من محاولة فاراداي نبذ مفهوم الأثير منذ العام 1846، فإن المفهوم أبى أن يندثر، وها نحن نري ماكسويل نفسه في مقال له منشور في الانسيكولوبيديا الموسوعة البريطانية العام 1878 (قبل عام واحد من وفاته) اقترح تجربة لقياس سرعة الأرض بالنسبة إلى الأثير من خلال استخدام أشعة ضوء في التجربة. وتشتمل التجربة على شق شعاع ضوء إلى اثنين وإرسال كل من الشعاعين الناتجين عن عملية الفصل في مسافة بين مرآتين، وأن تصطف مجموعة من المرايا في اتجاه حركة الأرض عبر الفضاء (أي افتراضا عبر الأثير)، وأن تصطف المجموعة الثانية في وضع زوايا قائمة مع الأول. وبعد انطلاق كل من الشعاعين من المرايا الخاصة به يمكن استعادتهما معا وجعلهما يتداخلان. وإذا أجريت التجربة بحيث يقطع كل من الشعاعين المسافة نفسها، فإنهما وبسبب حركة الأرض عبر الأثير، سيقطعان المسافة في زمنين مختلفين لا يتطابقان، مما يؤدي إلى حدوث تداخل مماثل لما حدث في تجربة الشق المزدوج. ولكن إجراء مثل هذه التجربة بالدقة اللازمة لاختبار هذا التنبؤ يمثل تحديا، وهو ما نهض به عالم الفيزياء الأمريكي ألبرت مايكلسون (1852 - 1931)، تولى الأمر وحده أولا (بينما كان يعمل في معمل هيرمان هلمهولتز في

برلين 1881) ثم قام به ثانية بالتعاون مع إدوارد مورلي (1838 - 1923) في أوهايو العام 1887، واكتشفا، وبأعلى مستوى من الدقة، أن لا دليل على أن الأرض تتحرك وثمة علاقة لها بالأثير - أو لنقل بعبارة أخرى إنهما قاسا سرعة الضوء ووجدا أنها واحدة سواء في اتجاه حركة الأرض أو عند قياسها من زوايا قائمة في اتجاه حركة الأرض. إنها في الحقيقة واحدة في كل الاتجاهات. وعمدا إلى تدوير الجهاز دون أي نتيجة؛ وأجريا التجربة في أوقات مختلفة من النهار (ومن زوايا مختلفة لدوران الأرض)، وأجريا التجربة كذلك في أوقات مختلفة من السنة (مراحل مختلفة من مدار الأرض حول الشمس)؛ الإجابة واحدة دائما - لا تداخل أو اضطراب بين الشعاعين.

ولكن مايكلسون، الذي استبد به هاجس الضوء إلى حد ما، عمد مرارا إلى وضع تصاميم وإجراء تجارب أفضل وأفضل لقياس سرعة الضوء ذاتها (إذ إن تجربة مايكلسون - مورلي لم يكن هدفها قياس السرعة الفعلية للضوء، نظرا إلى أنها بطبيعة الحال تستهدف فقط البحث عن فوارق بين شعاعي الضوء)؛ وحصل على جائزة نوبل في العام 1907 لما تميز به جهده من دقة فائقة، وإن لم يكن قد فرغ تماما من تجاربه عن الضوء. وبلغ جهد مايكلسون ذروته وقتما بلغ الثالثة والسبعين من العمر، العام 1926، عندما جعل الضوء يسري على امتداد مسافة في اتجاهين بين قمتي جبلين في كاليفورنيا. وحدد السرعة بأنها 299.796 +/ - 4 كم/ س، وهو ما يتسق مع أفضل تقدير حديث وقدره 299.792.458 كم/ س في حدود الخطأ التجريبي. وواقع الحال أن الرقم الحديث أصبح محددا ونهائيا كقياس لسرعة الضوء، وهو ما يعني أن طول المتر المعياري هو المعني تحديدا في هذه القياسات (*).

وبعد أن فرغ مايكلسون ومورلي من تقريرهما وبيان نتائج تجاربهما المحددة والنهائية، ظهر على التو عالم الرياضيات والفيزياء الإيرلندي جورج فيتزجرالد (1851 - 1901)، الذي كان يعمل في ترينتي كوليج في دبلن، وقدم تفسيرا لما حدث. كان فيتزجرالد واحدا من أوائل من أخذوا معادلات مايكلسون مأخذ الجد، واشتغل على موضوع خاص بما نسميه الآن الموجات الإشعاعية، وذلك قبل أن يجري هيرتز تجاربه. وذهب فيتزجرالد إلى أن

(*) ونحن في عالم يسوده العقل، وحيث أصبح القياس غاية الدقة، حري أن ندخل تعديلا طفيفا على طول المتر بحيث مع التحديد تكون سرعة الضوء بالدقة هي 300.000 كم/ س.

فشل تجربة مايكلسون - مورلي في قياس أي تغير في سرعة الضوء بغض النظر عن الجهة التي يتجه إليها الجهاز بالنسبة إلى حركة الأرض في الفضاء، إنما يمكن تفسيره إذا ما حدث وانكمش كل الجهاز (وهو هنا في الحقيقة كل كوكب الأرض) بقدر ضئيل جدا في اتجاه الحركة - بقدر يتوقف على سرعته ويمكن حسابه بدقة تأسيسا على واقع أن التجربة أعطت نتيجة صفرية. وجدير بالذكر أن الفكرة نفسها قدمها بشكل مستقل في تسعينيات القرن التاسع عشر عالم الفيزياء الألماني هندريك لورنتز (1853 - 1928)، الذي عمل في ليدن وطور الفكرة بحيث بلغت درجة الكمال (وليس سبب ذلك فقط أن عمره امتد لما بعد وفاة فيتزجرالد، الذي توفي شابا نتيجة إصابته بقرحة المعدة بسبب الإجهاد الشديد). واستطاع لورنتز التوصل إلى الصيغة المحددة المعروفة لنا الآن باسم معادلات التحول عند لورنتز العام 1904. وإذا تغاضينا عن الأسبقية التاريخية، فإن ظاهرة الانكماش أضحت معروفة الآن باسم انكماش لورنتز - فيتزجرالد Lorentz -Fitzgerald Contraction.

ألبرت آينشتين: النظرية النسبية الخاصة

يجري أحيانا تصوير هذا العمل وكأنه بشكل ما استباق لنظرية النسبية الخاصة عند آينشتين، بما يفيد أن كل ما فعله هو أنه وضع النقطة على حرف أبجدي. بيد أن هذا بعيد تماما عن حقيقة الوضع. إن نوع الانكماش الذي تصوره فيتزجرالد ولورنتز تضمن الجسيمات المفردة المشحونة كهربيا (الذرات) في مادة تتلاصق معا كلما زادت قوة الجذب بينهما بسبب الحركة - ليس فكرة غريبة وغير تقليدية تماما، مع العلم بأن اكتشافات فاراداي عن الكهرباء والمغناطيسية متأثرة بالحركة وتعرف الآن أنها خطأ. ولكن آينشتين من ناحية أخرى انطلق بداية تأسيسا على المبادئ الأولية المؤسسة على حقيقة أن معادلات ماكسويل تحدد سرعة واحدة ومتفردة للضوء، وتوصل آينشتين بناء على ذلك إلى معادلات تتطابق رياضيا مع معادلات التحول عند لورنتز، وإن تصورت الفضاء يشغله جرم هو ذاته ينكمش في اتساق مع حركة الجسم بالنسبة إلى المراقب. وتصف المعادلات أيضا تمدد الزمان (إذ تبطئ الساعات المتحركة بالنسبة إلى الزمن الذي يقيسه مراقب ثابت) مع زيادة في كتلة الأجسام المتحركة. وتكشف

النظرية الخاصة عن أن أي جسم يبدأ في التحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء لا يمكنه أن يزيد سرعته إلى أكثر من سرعة الضوء (وإحدى سبلنا للتفكير في هذه أن كتلته ستكون لا نهائية حال أن تكون سرعته هي سرعة الضوء، ومن ثم تلزمه طاقة لا نهائية لكي تجعله يتحرك أسرع). ونظرا إلى أن الكتلة تتوقف على السرعة، وحسب الطريقة التي تكون فيها كذلك، فإن النظرية تكشف عن تكافؤ الكتلة والطاقة، كما تفيد أشهر معادلات العلم E= mc2.

ولكن كل هذه القياسات نسبية إلى ماذا؟ إن القسمة الأساسية الأخرى المميزة للنظرية الخاصة، بالإضافة إلى ثبات سرعة الضوء، هي أنه لا توجد حالة ثبات مفضلة في الفضاء. ورأى آينشتين أن لا وجود لإطار مرجعي مفضل في الكون - لا «فضاء مطلق» يمكن أن نقيس على هديه الحركة. كل حركة نسبية (ومن هنا جاء اسم النظرية)، وأن أي مراقب لا يتسارع له أن يرى نفسه في ثبات أو سكون وأن يقيس كل حركة أخرى بالنسبة إلى إطاره المرجعي. وتعتبر النظرية «خاصة» بمعنى أنها مقيدة حصرا - حالة خاصة حيث حالات التسارع ليست في الاعتبار. إن جميع المراقبين المتحركين في سرعات ثابتة بالنسبة إلى كل منهم إزاء الآخر (مراقبون بالقصور الذاتي inertial observers) لهم جميعا وبالتساوي حق القول إنهم في ثبات، وأن يقيسوا كل حركة بالنسبة إليهم.

وتشتمل المعادلات على تماثل جوهري ومرض للذات، وهو ما يعني أن المراقبين في الأطر المرجعية المختلفة (من يتحركون بالنسبة بعضهم إلى البعض) يحصلون على إجابة واحدة على التجارب عند مقارنة الملاحظات، حتى وإن اختلفوا بشأن كيفية الحصول على تلك الإجابات. مثال ذلك، إذا كنت أراقب سفينة فضاء تنطلق بسرعة تمثل جانبا كبيرا من سرعة الضوء متجهة إلى نجم على بعد عشر سنوات ضوئية، فسوف يبدو لي أن الزمن الذي انقضى لإتمام الرحلة أقل من عشر سنوات وفقا لساعات سفينة الفضاء، دون أن تنطلق سفينة الفضاء بأسرع من سرعة الضوء، وذلك لأن الساعات المتحركة تبطئ. ويبدو الأمر بالنسبة إلى ملاحي سفينة الفضاء أن الرحلة استغرقت الوقت ذاته الذي أحسبه؛ ولكنهم يقولون إن ساعاتهم تعمل على طبيعتها كما تعمل دائما، وإن رحلتهم اختصرت لأن الفضاء،

الواقع بين هنا وبين النجم البعيد انكمش بفضل الحركة النسبية لكل النجوم في الكون «الأبعد» من سفينة الفضاء والتي لهم أن يقولوا إنها ساكنة. إذ لو أن أي مراقب «أ» يري ساعة المراقب «ب» تبطئ حركتها وأن قصبة القياس عنده انكمشت، إذن فإن المراقب «ب» يري أن ساعات المراقب «أ» وقصبات قياسه تأثرت بالطريقة نفسها تماما، وبالدرجة نفسها تماما، دون أن يلحظ أي منهما أي شيء غريب بشأن جهاز قياس كل منهما، وثمة نتيجة مهمة مترتبة على كل هذا وهي أن أي شيء، ينطلق بسرعة زمن الضوء يقف ثابتا. وحسب وجهة نظر الفوتون Photon (كوانتم الضوء a quantum of light والتي سنناقشها في الفصل 13)، فإنها لا تستغرق وقتا على الإطلاق لكي تعبر المسافة الفاصلة بين الشمس وكوكب الأرض، وقدرها 150 مليون كم. ولكن هذا يحدث، حسب وجهة نظرنا، لأن أي ساعة محمولة على الفوتون ستكون ساكنة، ومن وجهة نظر الفوتون (ولنتذكر أن الفوتون له أن يعتبر نفسه وكأنه في حالة ثبات، بينما كوكب الأرض ينطلق بعنف نحوه) يكون السبب هو أن الفضاء بين الشمس والأرض ينكمش إلى صفر، ومن ثم فإنه بوضوح لا يستغرق وقتا على الإطلاق لعبوره. وطبيعي أن من الأهمية بشكل حاسم، على الرغم مما تبدو فيه الاستنتاجات من غرابة، أن تنبؤات نظرية، النسبية الخاصة أكدتها التجارب مرات كثيرة (مثال ذلك استخدام حزم ضوئية لجسيمات تسارعت حتى قاربت سرعة الضوء) ووصلت دقة القياس إلى عديد من العلامات العشرية. وهذا هو السبب في أنها نظرية وليست فرضا علميا. وجدير بالذكر أن هذه الظواهر ليست من مدركات الحس العام، لأننا لا ندركها في حياتنا اليومية، وذلك لأنها لا تتضح إلا إذا كانت الأجسام تتحرك في الحقيقة بقدر محسوس من سرعة الضوء.

مينكوفسكي:

الاتحاد الهندسي للزمان والمكان وفقا لهذه النظرية

نخطئ لو تصورنا ضمنا أن النظرية النسبية الخاصة لم تكن مفهومة لدى معاصري آينشتين العام 1905؛ وإن واقعة حصول مايكلسون على جائزة نوبل بعد ذلك بعامين إنما هي تعبير مهم عن حقيقة أن كثيرين من علماء

الفيزياء فهموا أهمية كل من معادلات التحول عند لورنتز وأعمال آينشتين. ولكن الصحيح أيضا أن أفكار آينشتين لم يبدأ تأثيرها الكبير، وكذلك الفوارق المهمة بين إنجازه وإنجاز لورينتز وفيتزجرالد لم يتسن تقديرها حق قدرها، إلا بعد العام 1908، عندما شرع مدرس آينشتين العجوز مينكوفسكي (الذي وصف آينشتين يوما بالكلب الكسول) في عرض الفكرة، ليس في صيغة المعادلات الرياضية بل في صيغة هندسة رباعية الأبعاد، أي هندسة المكان والزمان (التي اندمجت الآن في مصطلح واحد هو الزمكان Spacetime). وألقى مينكوفسكي (المولود العام 1864، وتوفي إثر مضاعفات نوبة التهاب الزائدة الدودية بعد المحاضرة بعام واحد)، محاضرة قال فيها:

> وهكذا فإن المكان بذاته، والزمان بذاته، مآلهما أن يتواريا في الظل ليظهر فقط نوع من الاتحاد بين الاثنين يحافظ على حقيقة واقعة مستقلة.

وعلى الرغم من أن آينشتين لم يكن في بداية الأمر سعيدا بهذه الصياغة الهندسية لأفكاره، كما سوف نرى، فإن هذا الاتحاد الهندسي تحديدا للزمان والمكان هو الذي سيقود إلى ما نعتبره على نطاق واسع أعظم إنجازاته، ألا وهو النظرية النسبية العامة.

وجدير بالذكر أن الفيزياء بعد العام 1905 لن تكون هي نفسها ثانية (ونحن بسبيل مناقشة ما اعتبره أهم إنجاز على الإطلاق حققه آينشتين فيما يسمى عام المفاجآت المثيرة، ألا وهو الإنجاز الذي حصل بسببه على جائزة نوبل، والذي أرسى دعائم نظرية الكوانتم). وتهيأت الفيزياء الأساسية في القرن العشرين للتطور بسبل لم يكن ليتخيلها رواد الفيزياء الكلاسيكية، من أمثال نيوتن أو حتى ماكسويل. ولكن العلم الكلاسيكي (والفيزياء الكلاسيكية خاصة) لا تزال تنتظر انتصارا عظيما لتحققه، وهو الذي انبثق عن تطبيق أفكار تنتمي في جوهرها إلى ما قبل العام 1905، والخاصة بأعظم لغز على مستوى البشر قاطبة، ونعني به طبيعة أصل وتطور كوكب الأرض ذاته.

12

ختام نشوة العلم الكلاسيكي

«يجب أن نسلم بوضوح بأن الأفكار التأملية الخالصة من هذا النوع، التي يبتكرها صاحبها استجابة لمتطلبات بعينها، لن تكون ذات قيمة علمية إلى أن تكتسب دعما يعززها من دليل مستقل»

آرثر هولمز

اعتمد الانتصار العظيم الأخير للعلم الكلاسيكي على اكتشاف واحد نراه، إذا ألقينا نظرة إلى الماضي من واقعنا الراهن، ينتمي إلى عالم ما بعد الكلاسيكي في القرن العشرين (بعد كلاسيكي بالمعنى العلمي وليس بالمعنى الحرفي أو التاريخي - الفني، أي المعنى العلمي المبني على النظرية النسبية وميكانيكا الكوانتم). وذلك الانتصار هو اكتشاف النشاط الإشعاعي (الذي هو ذاته في القرن التاسع عشر)، الذي زودنا بمصدر للحرارة يمكنه منع باطن الأرض من أن يبرد ويتحول إلى كتلة صلبة، كتلة خاملة، من نوع المقاييس الزمنية التي تستلزمها الأفكار التماثلية التي استحدثها لييل والسابقون عليه.

وسوف يتطلب الأمر نظريتي النسبية وفيزياء الكوانتم للتقدم من اكتشاف النشاط الإشعاعي إلى تفسير للظاهرة، وفهم كيف أن تحول الكتلة إلى طاقة يجعل النجوم مستمرة في السطوع. ولكن مثلما أن غاليليو استطاع دراسة طريقة تأرجح البندول وتدحرج الكرات على أسطح مائلة، من دون معرفة كيفية عمل الجاذبية، كذلك فإن كل ما كان علماء الطبيعة الأرضية (الجيوفيزيقا) بحاجة إلى معرفته عن النشاط الإشعاعي هو أنه يهيئ وسيلة للحفاظ على حرارة باطن كوكب الأرض، أي أن ثمة مصدرا للطاقة يحفز - باطراد - العمليات الفيزيائية التي شكلت سطح الكوكب على مدى أحقاب زمنية هائلة، ولايزال فاعلا حتى الآن. وهكذا فإنهم متسلحون بتلك المعارف، وأصبح في مقدورهم تطوير الجيولوجيا إلى جيوفيزيقا، وأن ينهضوا بتفسير نشأة القارات وقيعان المحيطات، وحدوث الزلازل والبراكين، ونشأة الجبال وتآكل اليابسة بفعل التماس... وغير ذلك كثير. وتحقق كل هذا في صورة علم يمكن فهمه جيدا بفضل إسحق نيوتن أو غاليليو غاليلي، فضلا عن وليام تومسون أو جيمس كلارك ماكسويل.

النظرة القائلة بالانكماش: هل كوكبنا يتجه نحو الانكماش؟

على الرغم من أهمية تأثير لييل (خاصة في العالم المتحدث بالإنجليزية، وبشكل أخص في تشارلز داروين)، غير أنه لا مناص من أحد استنتاجين: إما أن دعاة النظرة التماثلية اكتسحوا الساحة بعد نشر كتاب «مبادئ الجيولوجيا»، وإما أن غالبية علماء الجيولوجيا في القرن التاسع عشر أبدوا عناية كبيرة جدا بالحوار الدائر بشأن الأسباب الفيزيقية التي شكلت الأرض. والحقيقة أن ليس بالإمكان القول، إن كان هناك حوار، إن أشخاصا مختلفين طرحوا نماذج مختلفة، وكل له أنصاره، غير أن المتنافسين لم يلتقوا لمناقشة استحقاقات نماذجهم المتنافسة أو للانخراط أكثر في أي نوع من المواجهة كتابة. ولقد كانت المهمة الأولى التي احتلت - وبقوة - الصدارة على مدى القرن التاسع عشر، تقضي بإنجاز العمل الميداني الذي يحدد الطبقات وفق نظام ترتيبها، وتهيئ لعلماء الجيولوجيا مقياسا زمنيا مناسبا ونسبيا للعمل

على مديه، ومن ثم لكي يعرفوا أي الصخور هي الأقدم وأيها هي الأحدث. واطردت جهود البحث في الأفكار التي تتناول موضوع نشأة تلك الطبقات، غير أنها اشتملت على بقايا ظلال النظرة التماثلية، وساد على نطاق واسع الظن بأنه على الرغم من أن أنواع القوى نفسها كانت هي الفاعلة والمؤثرة في الماضي، مثلما هي فاعلة ومؤثرة اليوم (الزلازل والبراكين على سبيل المثال)، غير أنها ربما كانت أقوى في الماضي وقتما كانت الأرض أكثر شبابا، مع افتراض أنها كانت بالتالي أكثر سخونة. وتقضي النظرة التماثلية عند لييل بأن القارات ربما تحولت إلى قاع بحر، وأن قاع المحيط ارتفع لتتشكل منه القارات، لكن ثمة مدرسة فكرية أخرى (لاتزال تؤمن بالنظرة التماثلية) وتعرف باسم المدرسة السرمدية (Permanentism)، وتؤمن بأن القارات كانت منذ الأبد قارات كما هي على حالها اليوم، وبأن المحيطات كانت دائما محيطات. وكان السرمديون أقوياء خاصة في أمريكا الشمالية، حيث كان جيمس دانا (1850-1892)، أستاذ التاريخ الطبيعي والجيولوجيا بجامعة ييل، هو الداعية الأول لها. وربط الفرض بالفكرة القائلة (وهو ربط لا يوصف بعدم المعقولية إذا عرفنا حالة المعرفة وقتذاك) إن الأرض في حالة انكماش تدريجي وتتقلص مع اطراد البرودة، وإن سلاسل الجبال، من مثل جبال الأبلاش، نشأت في الواقع نتيجة انكماش قشرة كوكب الأرض.

وتطورت فكرة الانكماشية في أوروبا على امتداد مسارات مختلفة، كأنها تنويعات للنظرة الكارثية Catastrophism، وبلغت هذه الفكرة ذروتها خلال العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر، إذ أخذت صورة توليفة من أفكار قديمة استحدثها إدوارد سويس (1831-1914) المولود في لندن (ابن تاجر صوف ألماني)، ولكنه انتقل وأسرته، وهو لايزال طفلا، إلى براغ أولا ثم إلى فيينا، حيث عمل أستاذا للجيولوجيا بالجامعة. ويقضي نموذج سويس بأن التقلص هو القوة الدافعة لانفجارات سريعة تحدث تغيرات كبرى وتفصل فيما بينها فترات هدوء نسبي طويلة الأمد، بينما كوكب الأرض يبرد ويتقلص. وذهب إلى أن

اليابسة اليوم في كل من أستراليا والهند وأفريقيا هي أجزاء من يابسة أضخم حجما بكثير (واتخذ لها اسم غوندوانالاند، وهو اسم إقليم في الهند) كانت موجودة يوما ما في نصف الكرة الجنوبي، لكن غرق جزء كبير منها في باطن الأرض الآخذ في البرودة. ووفق هذه الصورة فإن القشرة الأرضية المنكمشة شكلت انحناءات (سلاسل الجبال والصدوع)، كما ترسبت في القاع كتل ضخمة (مثل الأطلسي في نصف الكرة الجنوبي)، حيث نشأ فضاء داخل باطن الكرة الأرضية مع البرودة والانكماش. وهكذا تشكلت أحواض محيط جديد بين كتل اليابسة التي كانت في السابق متصلة ببعضها، لكن هذا كله حدث خلال انفجارات مفاجئة وليس خلال عملية متصلة متدرجة. غير أن النموذج أخفق ولم يستطع الصمود أمام عمليات البحث الصحيحة. مثال ذلك أن كمية الانكماش والانحناءات اللازمة لإنتاج جبال الألب وحدها، وانضغاط (وفق التوليفة التي قال بها سويس) 1200 كم من القشرة الأرضية في داخل 150 كم من الجبال، تتطابق مع عملية تبريد درجتها 1200 درجة مئوية. وأكثر من هذا أن سيكون لزاما توافر درجة تبريد أكبر بكثير لكي ينشأ عنها الانكماش المزعوم أنه أدى إلى ظهور جبال الهيمالايا وروكي والإنديز، التي نشأت في الوقت نفسه الذي نشأت فيه جبال الألب. لكن الضربة القاصمة لكل هذه النماذج وما شابهها تمثلت في اكتشاف النشاط الإشعاعي، الذي تم في الوقت نفسه الذي كان فيه سويس عاكفا على استحداث توليفته النظرية، التي أوضحت أن باطن كوكب الأرض ليس في حالة تبريد على الإطلاق. بيد أن قصة التوليفة النظرية التي اصطنعها سويس مهمة على الرغم من ذلك لسببين: أولا أنها تبرز افتقاد أي «نموذج معياري» عن تاريخ كوكب الأرض مع بداية القرن العشرين. ثانيا أنها منحتنا اسما، وهو غوندوانا، الذي سيصبح مألوفا لدينا مع تأسيس فكرة الزحزحة القارية. ولكن على الرغم من أن هذه الفكرة نفسها بدأت إرهاصاتها في القرن التاسع عشر، فإنها لم تصبح فكرة معتمدة إلا في النصف الثاني من القرن العشرين - أي منذ أقل من خمسين سنة.

الفروض السابقة عن زحزحة القارات

اشـــتملت التنويعات في موضـــوع زحزحة القـــارات، التي ظهرت وتواترت خلال القرن التاســـع عشـــر، على فكـــرة مؤداها أن القارات يمكن أن تكون مســـتقرة فوق قواعد بلورية مغناطيسية، وأنها مدفوعة تجاه الشمال بتأثير فيض مغناطيسي. واشتملت كذلك على رأي يفيد بأن الأرض لم تكن في نشـــأتها أصغر فقط ممـــا هي عليه اليوم، بل كانت رباعية الشكل، حيث القارات مستقرة متلاصقة، ولكنها منفصلة عن بعضها بفعل حدث يمثل توسعا كارثيا أدى إلى إطلاق ودفع القمر بقوة خارج حوض البحر المتوسط ليستقر في مداره. وفي العام 1858 (العام الســـابق على صدور كتاب «أصل الأنواع») نشر أنطونيو سنيدر بيلليغريني، وهو أمريكي يعمل في باريس، كتابا بعنوان «كشف الحجاب عن الخلق وأســـراره»، عرض فيه نموذجا غريبا مؤسسا على تأويل له للكتاب المقدس. واشـــتمل هذا على سلســـلة من الكوارث التي وقعت على ســـطح كوكب الأرض وهو فـــي حالة انكماش ســـريعة مع بداية التاريخ. ونحن نذكره هنا لســـبب واحد فقط، هو أن الكتاب يمثل أول مطبوعة تحتـــوي على خارطة تجمع القارات معا، الواقعة على جانبي المحيط الأطلســـي والتي استخدمها الباحثون لتفســـير أوجه التماثل بين الحفريات الموجودة في ترســـبات الفحـــم على الجانبين المتقابلين للمحيـــط. وأعيد طبع الخارطة مرات عديدة على نطاق واســـع، مما أدى إلـــى غلبة انطباع خاطئ أن ســـنيدر بيلليغريني لديه فعلا نموذج معقول عـــن زحزحة القـــارات. وعرض أوزموند فيشـــر صيغة يمكن وصفها بأنهـــا أكثر علمية عن القارات في حركتها (وإن كانت الصيغة لاتزال داخل إطـــار النظرة الكارثية)، وجـــاء عرضه هذا ضمن بحث نشـــره في المجلة العلمية «نيتشـــر» في 12 يناير 1882، واعتمد على فكرة سبق أن اقترحها عالم الفلك جورج داروين (1845-1912، أحد أبناء تشـــارلز داروين). وتقول الفكرة إن القمر تشـــكل وقتما انشقت الأرض في حداثتها إلى جزأين غير متســـاويين. وذهب فيشـــر إلى أن حـــوض المحيط الهادي يمثل الجرح الذي انتزع منه القمر من بين بنية

الأرض، ورأى أيضا أن مادة القارات - على الجانب الآخر من العالم - تصدعت وتناثرت الأجزاء بينما السطح الباقي لكوكب الأرض تحرك ببطء في اتجاه الفجوة التي بدأت تمتلئ.

ألفريد فيغنر.. أبو نظرية زحزحة القارات

شهدت العقود الأولى من القرن العشرين صورا أخرى من نظرية زحزحة القارات، ولكن الصيغة التي تركت بصمتها عمليا وأثرت في تطور علوم الأرض هي الصيغة التي عرضها عالم الأرصاد الجوية الألماني الفريد فيغنر، وذلك بداية في العام 1912، ويبدو أن فيغنر الذي وفد من مبحث علمي مغاير (إذ تدرب أصلا كعالم فلك) كان يعرف القليل عن الرصيد الغزير من الأفكار القديمة التي تتحدث عن زحزحة القارات (وربما رأى أنها تعبر عن فكر أحمق). ولم تحقق أفكاره تأثيرها الواضح لأنها تقدم نموذجا أكثر اكتمالا من سابقيه فقط، لكن لأنه خاض معارك دفاعا عنها على مدى عقود، فضلا عن دأبه في البحث عن مزيد من الأدلة التي تدعم فكرته، واطراد دفاعه عنها في ضوء النقد، وكذلك إصدار كتاب صدرت منه أربع طبعات قبل أن تعاجله المنية في العام 1930، لم يكتف فيغنر بنشر أفكاره وتركها لمصيرها، بل أثار جلبة صاخبة بشأن زحزحة القارات. وصمد مفهومه إجمالا لزمن طويل أمام الاختبار، على الرغم من خطأ أكثر أفكاره، ويعتبر فيغنر اليوم، عن صواب، الأب الحقيقي لنظرية زحزحة القارات (كما هي الآن).

ولد فيغنر في برلين في الأول من نوفمبر من العام 1880، ودرس في جامعات هيدلبرغ وانسبروك وبرلين، وحصل على درجة الدكتوراه في الفلك من جامعة برلين في العام 1905، والتحق بعد ذلك بمرصد الطيران البروسي في تيغيل، حيث عمل لفترة مع أخيه كورت (تشاركا معا حرفيا في مناسبة واحدة، عندما تولى الأخوان مهمة التحليق ببالون لمدة 52.5 ساعة، وهو رقم قياسي جديد آنذاك لاختبار الأجهزة). ومنذ العام 1906 وحتى العام 1908 عمل فيغنر أخصائيا في الأرصاد الجوية مع بعثة استكشافية دنماركية في أعماق غرينلاند، والتحق بعد عودته

بجامعة ماربورغ كمحاضر في علم الأرصاد والفلك. وأصدر كتابا دراســيا في الأرصاد الجوية في العام 1911، وشـــرع منذ ذلك التاريخ في تطوير أفــكاره عن زحزحة القــارات، والتي ظهرت لأول مـــرة مطبوعة في العام 1912، فـــي ورقتـــي بحث مبنيتين على أســـاس محاضرتـــين ألقاهما في فرانكفورت وماربورغ في يناير من العام نفســـه. وكما ذكر فيغنر بعد ذلك، أنه في العام 1910 أعد أحد زملائه في ماربورغ «أطلس العالم الجديد»، وأنه (فيغنر) أحس بالذهول حين تطلع إلى هذا الأطلس (شأن آخرين من قبل) وشاهد صورة الساحل الشـــرقي لأمريكا الجنوبية والساحل الغربي لأفريقيا وبدا الساحلان كأنهما متطابقان كل منهما مع الآخر، مثل أجزاء لعبـــة الصور المقطعة. وأثار الموضوع فضوله، غير أنه اعتبرها فكرة بعيدة الاحتمال ولم يشأ الاهتمام بتطويرها إلى أن حل ربيع العام 1911، عندما اطلـــع مصادفة على تقرير يناقش مظاهر التماثل بين أشـــكال الحياة في العصور الجيولوجية القديمـــة (الباليونتولوجي) بـــين البرازيل وأفريقيا. وعرض التقرير الدليل هنا ليدعم فكرة وجود يابســـة قديمة أشبه بجسر يصـــل بين القارتـــين، لكن فيغنر نظر إلى الأمور نظـــرة مغايرة. وكتب في هذا الصدد في الطبعة الأولى لما أصبح فيما بعد مؤلفه الرئيسي وعنوانه «أصل نشأة القارات والمحيطات» (Die Entstehung der kontinente und Ozeane) الصادر في العام 1915(*).

> حفزني هـــذا على القيام بدراســـة فاحصة متســـرعة للبحـــث وثيق الصلة في مجالات الجيولوجيا وعلم الإحاثة، وزودنـــي هذا على الفور بدليـــل مهم يؤكد اقتناعي بصواب الفكرة (زحزحة القارات) التي ترسخت في عقلي.

وثمة دليل آخر ســـاهم في إقناع فيغنر بأنه علـــى طريق الوصول إلى شـــيء ما، إن عمليـــة توافق القارات على طريقة لغـــز الصور المقطعة هي الأفضـــل إذا ما توافقت مع بعضها، ليس وفق ما توضح حواف الشـــواطئ (التـــي تعتمد علـــى ارتفاع مياه المحيط اليوم) بـــل توافق حواف الرصيف القـــاري (Continental shelf)، أي الحافة الحقيقية للقارات، حيث توجد

(*) وقـــد أصدره فردريك فيونغ، عن برنســـويك، وللاطلاع على الترجمـــة الإنجليزية الدقيقة للطبعة الرابعة انظر المراجع.

انحـــدارات عميقة تصل إلى قـــاع المحيط. ولكن على الرغم من أن الفكرة وجــدت ما يدعمها فإن أحداثا عديـــدة أرجأت نضجها لتثمر في النهاية. جديـــر بالذكر أنه بعد فتـــرة قصيرة من عرض فيغنر أفـــكاره الأولى عن الزحزحة في يناير من العام 1912، اشـــترك في بعثة استكشافية جديدة إلـــى غرينلاند ليعود منها، في العام 1913، ويتزوج من إلســـي كوبين(*). وتحطمـــت كل خططهما الهادفة إلى حياة أكاديمية هادئة، وذلك بســـبب الحرب العالمية الأولى، فقد اســـتدعت السلطات فيغنر للخدمة العسكرية ليعمـــل ضابطا على الجبهـــة الغربية، حيث أصيب مرتـــين بجروح خلال الأشـــهر الأولى. وعندما أصبح غير ملائم للخدمة العسكرية العاملة، فقد عمل في مجال خدمة الأرصاد الجوية الخاصة بالجيش بعد شفائه. وألّف خلال فترة النقاهة المســـودة الأولى من كتابه ذائع الصيت (وترجمة عنوانه «أصل نشـــأة القـــارات والمحيطات»). الذي صدر فـــي العام 1915، بينما كانـــت الحـــرب في عنفوانها، ولم يكن له أثر كبيـــر، فضلا عن أنه يكاد لا يزيد على كراســـة مؤلفة مـــن 94 صفحة. وعقب الحرب اشـــتغل فيغنر لحســـاب المعمل البحري الألماني في هامبورغ (ومرة أخرى مع أخيه)، كما عمـــل محاضرا في علـــم الأرصاد لدى جامعة هامبـــورغ الحديثة. وحقق لنفســـه شـــهرة كباحث متميز في الأرصاد الجوية. بيـــد أنه واصل أيضا العمل لإنجـــاز نموذجه عن زحزحة القارات، وأصـــدر طبعات جديدة من كتابه (كل طبعة أكبر من سابقتها) خلال عامي 1920 و1922، واستشعر الأصدقاء قلقا خشية أن يدمر هذا شهرته، لكن أيا كان رأي الناس بشأن فكرة زحزحة القارات، فإن فيغنر كان عالم أرصاد من النوع المتميز، ولذلك شـــغل في العام 1924 منصب أستاذ الأرصاد الجوية بجامعة غراتس في النمســـا. ونشـــر خلال العام نفسه (بالاشـــتراك مع فلاديمير كوبين) أول محاولة لتفســـير حالات المناخ في الماضي اســـتنادا إلى زحزحة القارات، كما صـــدرت الترجمتان، الإنجليزية والفرنســـية، للطبعة الثالثة (1922) من كتاب «أصل نشـــأة القارات والمحيطات»، لكن بمجرد أن بدا أن فيغنر بدأ يكســـب روادا لأفكاره حتى ضاعت من بين يديـــه الفرصة لتطويرها،

(*) هـــي ابنـــة عالم الأرصاد الروســـي المولد فلاديمير كوبـــين (1846-1940)، وهو زميل وصديق فيغنر.

علـــى الرغم من أنه أعد الطبعة الرابعة متضمنـــة إجابته عن النقد الذي وجهه إليه البعض بشـــأن الطبعة الثالثة من العالـــم المتحدث بالإنجليزية بعـــد اطلاعهم على أفكاره المنشـــورة في العـــام 1929، وفي العام 1930 شرع فيغنر في القيام ببعثة استكشافية جديدة إلى غرينلاند، وكان رئيس البعثة هذه المرة (وعمره 49 عاما)، اســـتهدفت البعثة جمع الأدلة الداعمة لفرض زحزحة القارات. وواجهت البعثة مشـــكلة وهـــي على قمة الجليد فـــي غرينلاند، فضلا عن نقص المـــواد الغذائية في معســـكر في أعماق المنطقة، وذلك في الأول من نوفمبر 1930 (وهو عيد ميلاده الخمســـين). أخذ فيغنر ســـبيله إلى القاعدة الرئيســـية على الساحل بصحبة رجل من أبناء قبيلة الإنوي Inuit، لكنه لم يتمها. إذ تم العثور في الربيع التالي على جثمانه فوق قمة الجليد على الطريق بين المعســـكرين ملفوفا بدقة وإحكام داخـــل منامته، ولم يظهر رفيقه بعـــد ذلك أبدا. وهكذا أضحت الآن فكرة زحزحة القارات في مهب الريح مآلها أن تغرق أو تعوم من دون مســـاعدة من الداعية الرئيسي لها.

الدليل على بانجيا (Pangea)

يصـــور نموذج فيغنـــر كوكب الأرض مؤلفا من سلســـلة من الشـــرائح تتزايد كثافتها ابتداء من القشـــرة وحتـــى القلب. ورأى أن القارات وقيعان المحيطات مختلفة عن بعضها اختلافا أساســـيا، ويفسر القارات على أنها كتل غرانيتية خفيفة (تعرف باســـم ســـيال Sial المأخوذ من كلمة سليكا - ألومينـــا، وهي كلمة توضح تركيبهـــا) وأنها جوهريا تطفو على كتلة بازلتية أكثر كثافة (واسمها سيما - من سيليكا - ماغنسيوم)، وهذه موجودة تحت شـــريحة من الراسب الذي تتشكل منه صخور قاع المحيط. وقال إن الكتل القاريـــة الموجودة اليـــوم لاتزال تحتفظ بمعالمها ذاتهـــا التي كانت لها منذ انفصال القارة الأم المنفردة واسمها بانجيا (Pangea)، والتي كانت تشتمل على كل سطح اليابسة للكوكب مع نهاية حقبة الميسيزويك (منذ نحو 150 مليون ســـنة حسب التأريخ الحديث). ويشـــوب نموذج فيغنر نقطة ضعف جسيمة هي أن ليســـت لديه الأسباب التي تبرر القول بتفكك بانجيا، وأن

هذا يستدعي بعض الأفكار الغامضة من مثل «التراجع عن القطب» الذي حدث بفعل قوى الطرد المركزي، أو نتيجة ظواهر المد والجزر المحتملة، لكي تكون سببا للزحزحة القارية. بيد أنه مضى إلى أبعد مما ذهب إليه أسلافه من حيث تحديد مواقع الأخاديد (مثل وادي أخدود أفريقيا الشرقي) باعتبارها مواقع التفكك القاري الأولى، مشيرا إلى أنه، أيا كانت العملية الدافعة إلى الزحزحة القارية فإنها لاتزال مستمرة اليوم. وهكذا جعل من صيغته عن الزحزحة القارية صيغة تماثلية. ونلحظ بشكل حاسم أنه أسس أيضا أفكاره على أساس حجم ثابت للأرض من دون تقلص كارثي (أو حتى تدريجي) ومن دون توسع. والجدير بالذكر أن من أضعف قسمات النموذج هو أن فيغنر تصور القارات كأنها تندفع بقوة إلى سيما (القشرة العميقة البازلتية من الغلاف الصخري) قاع البحر، وهو الرأي الذي وجد علماء الجيولوجيا (عن صواب) أن من العسير عليهم تصديقه. ولكنه ربط أفكاره بطريقة تشكل الجبال على امتداد الحواف الشرقية لكل من الأمريكتين الشمالية والجنوبية، وفق ما حدث عند زحزحة القارتين بعيدا عن أوروبا وأفريقيا، وكيف أن القارات تكسرت حال اندفاعها إلى طبقة السيما. ورأى أن سلاسل الجبال، من مثل جبال الهيمالايا، في وسط كتل اليابس، يمكن تفسيرها على أساس تصادم القارات.

تبدو تفاصيل الفرض العلمي الذي قدمه فيغنر جيدة من حيث الأجزاء. تتجلي جودته بشكل خاص في الدليل الذي بناه على أسس علم مناخ العصور القديمة، إذ أوضح كيف أن التجمد الجليدي وقع في الماضي البعيد وفي وقت واحد في القارات التي نراها الآن متباعدة عن بعضها، وبعيدة عن المناطق القطبية، لكن الفرض يبدو سيئا بشكل خاص (بخلاف إغفاله أي دليل لا يدعم قضيته، الأمر الذي جعل علماء الجيولوجيا يتشككون في الموضوع برمته) من حيث اعتقاده أن الزحزحة القارية وقعت سريعا جدا، بحيث إن غرينلاند انفصلت عن إسكندنافيا منذ حوالي 50 ألفا إلى 100 ألف سنة فقط، وأنها تتحرك غربا بمعدل 11 مترا في السنة. واستمد هذا الرأي من علم المساحة التطبيقية وفق ما تم في العام 1823 أو 1907، بينما كانت القياسات غير دقيقة، ولكننا اليوم

نستخدم الليزر لتقدير المدى مستعينين بالأقمار الإصطناعية، وعرفنا بذلك أن المحيط الأطلسي يتسع فعلا بمعدل سنتيمترين في السنة (ونذكر هنا عرضا أن هذا تم بفضل متابعة بيانات محسنة خاصة بالمساحة التطبيقية التي وضعها فيغنر خلال رحلته الأخيرة فوق قمة ثلج غرينلاند، وهي الرحلة التي لقي حتفه خلالها). بيد أن أهم مساهمة له في سبيل تطوير فكرة الزحزحة القارية تتمثل في المركب الفكري الذي اشتمل على دليل يدعم وجود القارة الأم بانجيا في السابق، وذلك عن طريق ربط سلاسل جبلية وصخور رسوبية ودليل من ندوب حالات الغمر الجليدي في العصور القديمة، وتوزيع كل من الأحفوريات النباتية والحيوانية والنباتات والحيوانات المعاصرة. وعقد تناظرا مقنعا إذ قارن الوضع مع صفحة من ورق مطبوع تمزقت إلى أجزاء. فإذا أمكن تجميع الأجزاء بحيث تترابط الكلمات المطبوعة لتؤلف جملا صحيحة، فإن هذا يمثل دليلا مقنعا على أن الأجزاء تلاءمت في توافق صحيح، كذلك الحال، وبالطريقة نفسها، جمع دليلا مؤلفا من «نص» جيولوجي متناغم عند إعادة تجميع أجزاء القارة الأم بانجيا. وهذا هو الدليل الحاسم الذي دعم مسألة الزحزحة القارية، حتى قبل أن يتيسر فهم كامل لميكانيكيات العملية.

تقنية النشاط الإشعاعي لقياس عمر الصخور

وواقع الأمر، كما يذهب عالم جيولوجي في تقديره بوجه خاص، فإن المكون الرئيسي لآلية الزحزحة القارية سبق تحديده مع نهاية عشرينيات القرن العشرين، وهذا العالم الجيولوجي هو آرثر هولمز (1890-1965)، الذي أصبح بحلول العقد الثاني من القرن العشرين خبيرا رائدا في الانحلال الإشعاعي، واحتل صدارة الجهود الهادفة إلى قياس عمر الأرض مستخدما تقنيات النشاط الإشعاعي. ولقد كان في الحقيقة أكثر من أي شخص آخر «الرجل الذي قاس عمر الأرض». والجدير بالذكر أن هولمز سليل أسرة عادية متواضعة في غيتسهيد شمالي شرق إنجلترا (إذ كان أبوه نجار أثاث فاخر وأمه عاملة مساعدة في متجر). التحق بالكلية الملكية للعلوم في لندن العام 1907، بعد أن اجتاز امتحانات المنحة الدراسية

القومية التي وفرت له ثلاثين شلنا أسبوعيا (1.50 جنيه إسترليني) خلال السنة الدراسية. لم يكن هذا ليكفي معيشته في العام 1907، ولم يكن ثمة أمـل في الحصول على دعم مالـي من أبويه، لهذا أصبح لزاما على هولمز أن يبذل أقصى جهد للمعيشة.

وحوالي هذا الوقت، احتل موضوعا النشـاط الإشعاعي وعمر الأرض مكان الصدارة في النقاشـات العلمية، وحدث قبيل هذا بفترة قصيرة أن اسـتحدث الأمريكي برترام بولتوود (1870-1927) تقنية لتأريخ عينات من الصخر في ضوء ما تحتويه من نسـب الرصـاص واليورانيوم. ونظرا إلى أن الانحلال الإشـعاعي يؤدي إلى إنتاج رصـاص وفقا لمقياس زمني مميز (كما سـنرى في الفصـل 13)، فإن قياس هـذه المعدلات يمكن أن يكشـف لنا عن عمر الصخور. واسـتخدم هولمز، وقتما كان يعد مشروعه الجامعي وهو في العام الدراسـي الأخير، التقنيـة، لتحديد عمر عينات من الصخر من العصـر الديفوني(*) المأخوذة من النرويج، وتوصل إلى أن عمرها 370 مليون سـنة. هكذا لم تكد عشر سنوات من القرن العشرين تمضـي حتى اسـتطاع طالب جامعي أن يحدد عمـر قطعة صخر، والتي تبين أنها أقدم صخرة في القشـرة الأرضيـة، إذ تجاوزت القياس الزمني للمجموعة الشمسية الذي تقول به فكرة أن الشمس أطلقت حرارتها فقط نتيجـة لانهيار من الجاذبية. تخـرج هولمز في العام 1910 تحيط به هالة متوهجة من الشـهرة، ولكن كان معهـا عبء يثقل كاهله هو دين مصاريف الدراسـة، ولكنه أحس بسـعادة غامرة إذ حصل على منصب يعطي أجرا جيدا لمدة ستة أشهر كباحث جيولوجي محتمل في موزمبيق، براتب شهري قدره 35 جنيها إسـترلينيا. ولكن إصابته بنوبة خطرة لحمى البول الأسود أرجـأت عودته إلـى الوطن، علاوة على إصابتـه بالملاريا (لكن رب ضارة نافعة، لأن المرض حال دون التحاقه بالجيش خلال الحرب العالمية الأولى). وإذ اسـتقرت أحوال هولمز المالية (وربح من رحلته 897 جنيها استرلينيا) أصبـح في اسـتطاعته أن ينضم إلى هيئة التدريس فـي الإمبريال كوليج (وهو الاسـم الذي سـميت به رويال كوليج (الكلية الملكية) للعلوم، بعد أن

(*) العصر الجيولوجي الرابع من العهد الباليولوزي، الذي يتميز بظهور الغابات والبرمائيات [المترجم].

تحولت في العام 1910)، وبقي هناك حتى العام 1920، وحصل على درجة الدكتوراه في العام 1917، وعمل بعد ذلك في بورما لحساب شركة نفط، ثم عاد إلى بريطانيا في العام 1924 ليشغل منصب أستاذ الجيولوجيا في جامعة دورهام. وانتقل بعد ذلك إلى جامعة أدنبره في العام 1943، وتقاعد في العام 1956، وكان قد استطاع حتى هذا التاريخ أن يؤسس على نحو راسخ التقنية الإشعاعية لقياس أعمار الصخور، كما توصل إلى أن عمر كوكب الأرض ذاته 4.500 ± 100 مليون سنة (*). وأصدر، في اتساق مع عمله، كتابا دراسيا مرجعيا عنوانه: «مبادئ الجيولوجيا الفيزيائية». (واختار العنوان عامدا تحية لليل)، والذي صدرت أول طبعة له في العام 1944، ثم صدرت طبعات تالية مزيدة ومنقحة، ويعتبر الكتاب منذ ذلك الوقت نصا معياريا، ويرجع جزء من نجاح الكتاب إلى نهج هولمز في جعل الجيولوجيا مبحثا مفهوما. ونذكر هنا ما قاله يوما لصديق له في رسالة «لكي تكون مقروءا على نطاق واسع في البلدان المتكلمة بالإنجليزية فكر في أكثر الطلاب غباء ممن قابلتهم، ثم فكر كيف لك أن تفسر الموضوع له»(**).

تفسير هولمز للزحزحة القارية

يقينا أن اهتمام هولمز بالزحزحة القارية برز قبل العام 1920 بسبب أحد زملائه في إمبريال كوليج، ويدعى جون إيفانس، الذي يجيد قراءة الألمانية إجادة تامة، وكان من أوائل المتحمسين لأفكار فيغنر (وكتب فيما بعد مقدمة الطبعة الإنجليزية من كتاب فيغنر). وصدرت الطبعة الثالثة من الكتاب في إنجلترا حال عودة هولمز من بورما، ويبدو أن هذا كان الحافز الذي دفعه إلى تبني الفكرة أثناء فترة راحة من عمله الخاص باليورانيوم - الرصاص، فور تثبيت أقدامه في دورهام. وعلى الرغم من أنه ابتدأ بتفضيله فرض الانكماش، فإن فهمه للنشاط الإشعاعي وإمكاناته

(*) استغرق تحديد العمر بدقة زمنا طويلا، ذلك لأنه على الرغم من أن المبادئ الأساسية للتقنية كانت معروفة منذ العام 1910 فإن التكنولوجيا اللازمة لضمان دقة القياسات وفق ما هو مطلوب استغرق تطويرها عقودا عديدة. وكما هو حادث دائما، فإن العلم في حاجة إلى التكنولوجيا لكي يتقدم بقدر ما أن التكنولوجيا في حاجة إلى العلم.

(**) الاقتباس من لويس.

المحتملـة لتوليد حرارة داخـل كوكب الأرض حثه على الفـور على تغيير آرائه. وكانت قد ترسـخت في ذهنه فكرة أن الحمل الحراري ربما اقترن بعملية ظهور الجبال والزحزحة القارية، وذلك نتيجة مناقشـته لها خلال الخطاب الرئاسـي الـذي ألقاه إيه. جي. بول أمـام الجمعية الجيولوجية في لنـدن في العام 1927 (بعد مائة عام فقط من تاريخ ذهاب تشـارلز داروين إلى جامعة كيمبريدج قاصدا أن يصبح كاهنا). وفي ديسـمبر من هـذا العام قدم هولمز بحثا إلى الجمعية الجيولوجية في أدنبره التي تبنت هـذه الأفـكار. وذهب إلى أنه علـى الرغم من أن القـارات تطفو حقيقة فـوق مادة أكثر كثافـة، وهنا قريب إلى حد ما ممـا اقترحه فيغنر، فإنها لا تتحـرك عبر طبقة السـيما، إنما الصحيح أن هذه المادة الأشـد كثافة هـي ذاتها التي تحركت حول مكانها ببطء شـديد وأثارت حركتها تيارات الحمل الحراري الناجمة عن الحرارة في باطن الأرض وتصدعت في بعض الأماكن (مثل الحرف المحيطي Ocean ridge في وسط الأطلسي)، ودفعت القـارات على أي من جانبي الصدع بعيدا عن بعضها، بينما تصادمت في أنحاء أخرى من الكوكب. ولكن باسـتثناء التولد الحراري الإشعاعي، فإن العنصر الرئيسـي في نموذج هولمز هو الزمن - الكتلة الصخرية «الصلبة» التي ارتفعت حرارتها من أسـفل، ومن ثم يمكنها أن تتمدد وتفيض، مثلها مثل دبس السـكر الكثيف (أو مثل اللاصق السحري الذي نجده في بعض محـال بيع لعب الأطفـال)، لكن هذا يحدث ببطء شـديد. ولا غرابة في أن واحـدا مـن أوائل الجيولوجيين الذي أيد فكـرة الزحزحة القارية كان أيضـا من أوائل من قدروا كميا العمر الهائـل لكوكب الأرض، والانخراط بقوة لقياس عمره. وفي العام 1930 قدم هولمز تفسيره التفصيلي الدقيق للزحزحة القاريـة، موضحا كيف تعمل تيارات الحمل داخل كوكب الأرض نتيجـة الحرارة المتولدة بفعل الانحلال الإشـعاعي، والذي كان سـببا في تكسـر القارة الأم بانجيـا، إذ انفلقت أولا إلى كتلتين يابسـتين ضخمتين (غوندوانـا لاند فـي نصف الكرة الجنوبي، ولوراسـيا في الشـمال)، ثم تجزأت الكتلتان بدورهما وتزحزحت أجزاؤها ليتشكل نمط اليابسة الذي نراه اليوم على سـطح الأرض. نجد كل هذا منشـورا في «وقائع محاضر

جلسات الجمعية الجيولوجية في غلاسكو»، بالإضافة إلى تقدير مقارب جدا لقياسات اليوم، والتي تفيد بأن تيارات الحمل تحرك القارات بمعدل نحو 5 سنتيمترات في السنة، وهذا معدل كاف لتكوين حوض الأطلسي نتيجة صدع في القشرة الأرضية على مدى فترة تقارب 100 مليون سنة.

إن عناصر كثيرة جدا من الصيغة الحديثة للزحزحة القارية كانت قد احتلت مكانها في العام 1930، وقدم هولمز الدليل على الزحزحة في الفصل الختامي من كتابه «المبادئ» في العام 1944، مما يوضح بما لا يدع مجالا للشك أنه يدافع عن القضية. بيد أنه من باب الأمانة، أبرز الأخطاء التي تضمنها العرض الذي قدمه فيغنر:

> صنف فيغنر مجموعة مؤكدة من الوقائع والآراء. بعض عناصر برهانه مقنعة من دون ريب، غير أن كثيرا من دعواه بناها على تأمل نظري ودفع ذي طابع خاص؛ مما أثار عاصفة من النقد المعارض. وأكثر من هذا أن أغلبية الجيولوجيين أحجموا عن التسليم بإمكان حدوث الزحزحة القارية، إذ لم يكن معروفا عن أي عملية طبيعية لديها الفرصة ولو بعيدة تماما لكي تسبب ذلك... ومع هذا، فإن النقطة الأهم حقيقة ليست دحض آراء فيغنر الخاصة، بقدر ما هي أن تقرر، تأسيسا على الدليل ذي الصلة، ما إذا كانت الزحزحة القارية شكلا أصيلا أم لا من أشكال حركة الأرض. وليس ثمة خطر في أن ندع التفسيرات جانبا الآن إلى حين أن نعرف عن ثقة أكثر ما هو تحديدا الأمر الذي يحتاج منا إلى تفسير.

ونرى هولمز في ختام الفصل الخاص بالزحزحة القارية، وبعد عرض مسألة الحمل الحراري باعتباره القوة الدافعة للعملية، يكتب ما يلي:

> ولكن يجب أن نسلم بوضوح بأن الأفكار التأملية الخالصة من هذا النوع، التي يبتكرها صاحبها استجابة لمتطلبات بعينها، لن تكون ذات قيمة علمية إلى أن تكتسب دعما يعززها من دليل مستقل.

وأجدني أتساءل في دهشة: ترى هل كان هولمز يعرف إلى أي مدى كان يردد - إلى حد التطابق - كلمات وضعها آرثر كونان دويل على لسان سميه الخيالي في رواية «فضيحة في بوهيميا» إذ يقول:

إنه خطأ لا يغتفر أن ينظر المرء دون معلومات. إذ لا معنى أبدا أن يبدأ المرء في ليّ الحقائق لتناسب النظريات، بدلا من أن يطوع النظريات لتلائم الحقائق؟

ولم يحدث جديد واقعيا يدعم قضية الزحزحة القارية خلال الفترة من 1930 وحتى 1944، وسبب ذلك تحديدا أنه لم تظهر حقائق جديدة نبني عليها. وطبيعي أن حدثت بعض المقاومة من جانب الحرس القديم ضد الأفكار الجديدة، لا لشيء سوى لأنها جديدة، إذ نجد دائما من يحجمون عن التخلص من كل ما تعلموه لكي يتبنوا فهما جديدا عن العالم، مهما كان الجديد مقنعا. ولكن على مدى ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين، كان الدليل الداعم لفكرة الزحزحة القارية مقنعا تماما، ولا نقول إن قبوله يأتي قسرا لعدم وجود بديل. إذ الحقيقة أنه كانت لاتزال هناك أفكار منافسة لها وجاهتها، تحديدا ما يخص منها النزعة السرمدية، لكن حيث توفي فيغنر بينما هولمز عاكف - حتى أذنيه - على تقنيات التأريخ، فإنه لم يبق أحد ليدافع عن الزحزحة القارية، إلى أن فقدت تدريجيا كل مظاهر الدعم والتأييد (ووصل الأمر إلى حد أن النقد الوحيد لكتاب هولمز العظيم جاء على لسان من قالوا كان أحرى به ألا يضمن الكتاب فصلا يدعم مثل هذه الأفكار الشاذة). إن ما جعل فكرة الزحزحة القارية موضع احترام أول الأمر، ثم جعلها إطارا فكريا راسخا، نموذجا معياريا يعرض كيف تعمل الأرض، كان برهانا جديدا، برهانا جديدا انبثق في خمسينيات وستينيات القرن العشرين بفضل التكنولوجيا الجديدة، التي تطورت هي ذاتها جزئيا نتيجة الازدهار الهائل الذي عايشته جميع العلوم التكنولوجية، والذي تحقق بسبب الحرب العالمية الثانية. وهذا بدوره أول مثال نلتقيه في كتابنا هذا عن الكيفية التي أصبح بها العلم مبحثا ينجز تقدما حقيقيا فقط بفضل أعداد كبيرة قابلة لتبادل مواقعها وتعمل معا في تضافر من أجل إنجاز مشروعات ضخمة. إن أحدا، حتى نيوتن نفسه، ما كان بوسعه

الحصـــول على جميع المعلومات اللازمة لإحداث هذا الاختراق الذي حول فــرض الزحزحة القارية إلى نظرية هي نظريــة الصفائح التكتونية، هذا على الرغم من أنه - من دون ريب - قادر على تجميع عناصر البرهان معا لتكوين نموذج متماسك.

لقد تحقــق تقدم تكنولوجي فــي نواح عديدة بســبب الحرب العالمية الثانية، مما ســاعد عمليا على التوصل إلى برهان رئيسي يدعم الزحزحة القاريــة، لكــن على الرغم من هــذا، فإن الجيولوجيين خــلال أربعينيات القرن العشرين عكفوا على مشروعات وثيقة الصلة بالحرب، وخدموا في صفوف القوات المسلحة أو عاشوا في البلدان المحتلة حيث لم تكن الفرصة متاحة جيدا للبحث العلمي الشامل على نطاق الكواكب. ولكن عقب الحرب مباشــرة بدأ تعمير أوروبا، وتغيرت جذريا العلاقة بين العلم والحكومة في الولايــات المتحدة، وأدى هذا إلى إرجاء تطوير وتطبيق التقنيات الجديدة، وصدرت في هذه الأثناء أبحاث تناقش الزحزحة القارية (سواء تأييدا لها أو معارضــة)، وبقيت إلى حد كبير منهلا خلفيــا لكي تفتذي عليها العلوم الجيولوجية. ولكن كانت الفكرة جاهزة تنتظر الأجنحة التي تحملها وتحلق بهــا حال انبثــاق الدليل الجديد الذي لولا هذه الخلفيــة لبدا محيرا إلى أقصى حد، وعسيرا على تفسير أسبابه.

انقلاب اتجاه المغناطيسية الأرضية والقلب المنصهر لكوكب الأرض

توافــر الدليل الجديد بفضل دراســة مغناطيســية الأحفوريات - أي مغناطيســية عينــات الصخر والطبقــات القديمة - ونشــأ الحافز إلى هــذا العمل ذاته في الأصل مــن البحث في المجال المغناطيســيّ لكوكب الأرض، الذي كانت نشــأته لاتزال تمثل لغزا محيرا في أربعينيات القرن العشرين. ونذكر هنا والتر إلساسير (1904-1991)، وهو واحد من بين كثيريــن من العلماء المولودين في ألمانيا وهجروا ألمانيا حال اعتلاء أدولف هتلر الســلطة هناك وانتهى بهــم المطاف إلى الولايات المتحدة، وشــرع إلساســير في أواخر ثلاثينيات القرن العشــرين في تطوير فكرة مؤداها

أن مغناطيسية الأرض تولدت عن دينامو باطني طبيعي، ونشر أفكاره تفصيلا في العام 1946، بعد أن وضعت الحرب أوزارها. وتبنى الفكرة عالم الفيزياء الأرضية البريطاني إدوارد بولارد (1907-1980)، الذي عمل خلال الحرب في مجال تقنيات خاصة بإبطال مفعول مغناطيسية السفن بقصد حمايتها من الألغام المغناطيسية. وفي أواخر أربعينيات القرن العشرين، كان بولارد يعمل بجامعة تورونتو، حيث حقق مزيدا من التطوير لنموذج المجال المغناطيسي الأرضي باعتباره نتاج تدوير سوائل توصيل في القلب السائل الحار للكوكب (بعبارة بسيطة، تيارات الحمل والدوران في حديد منصهر). وفي النصف الأول من خمسينيات القرن العشرين، وبينما كان بولارد مديرا للمعمل الفيزيائي القومي بالمملكة المتحدة في لندن، استخدم الحاسوب الإلكتروني البدائي لإجراء أول عمليات محاكاة لعملية الدينامو هذه.

وخلال هذه الفترة كشفت قياسات المغناطيسية الأحفورية عن أن المجال المغناطيسي الأرضي له ذات التوجه الخاص بالصخور على مدى السنوات الـ 100 ألف الماضية. تتمغنط الصخور حال اندفاعها في صورة مادة منصهرة متدفقة، أو أخاديد، في القشرة الأرضية، وبمجرد أن تستقر في موضعها حتى تحتفظ بنمط المجال المغناطيسي الذي تشكلت فيه، وتصبح أشبه بقضبان مغناطيسية. ولكن الباحثين البريطانيين بوجه خاص (خاصة جماعات صغيرة منهم اتخذوا مقرهم في جامعات لندن وكيمبريدج ونيوكاسل) اكتشفوا أن اتجاه المغناطيسية الأحفورية في صخور أقدم يمكن أن تكون مختلفة عن توجه المجال المغناطيسي الراهن، وبدا كأن المجال أو الصخور قد غير أي منهما وضعه بعد أن تجمدت طبقات الأرض، لكن الشيء الأكثر غرابة أنهم اكتشفوا ما يبدو أنها مناسبات مرت على مدى الماضي الجيولوجي كان للمجال المغناطيسي فيها الاتجاه المقابل لما هو عليه اليوم، حيث القطبان الشمالي والجنوبي يتبادلان موقعيهما. والجدير بالإشارة أن هذا الدليل المغناطيسي القديم هو الذي أثار الجدل بشأن الزحزحة القارية. وحمي وطيس الجدل مع بداية ستينيات القرن العشرين، واستخدم البعض الاتجاهات المغناطيسية للصخور المأخوذة من

أزمنة بعينها في الماضي الجيولوجي لتكون أشبه بـ «مصفوفات الطباعة» لمطابقتها مع وصلات عملية إعادة تصور بنية القارات، ووجدوا أن هذه تماثل تصورات فيغنر.

وعلى المنوال نفسه حدث تطور ضخم في معرفتنا عن قاع مياه البحار، التي تمثل ثلثي القشرة السطحية للأرض. ولقد كان هذا المجال قبل الحرب العالمية الأولى غامضا إلى حد كبير، وعالما مجهولا لم نكتشفه بعد، لكن الحاجة إلى اكتشاف سبل لمواجهة خطر الغواصات شجعت على استحداث التكنولوجيا اللازمة لتحديد ما يرقد تحت سطح المحيطات، خاصة تحديد المواقع بالموجات الصوتية وتحليل الموجات المرتدة أو المسبار الصوتي (السونار)، ولم يكن الحافز لاستخدام التكنولوجيا هو فقط الرغبة في اكتشاف مواقع الغواصات مباشرة، بل كان الحافز - بعد الحرب - هو رسم خارطة لقاع المياه، وذلك إشباعا، من ناحية، للفضول المعرفي، وأيضا (في حدود اهتمام السلطات المسؤولة عن التمويل) لتحديد المواقع التي تختفي فيها الغواصات. وهذه هي التكنولوجيا التي بدأت مع نهاية ثلاثينيات القرن التاسع عشر في رسم وتحديد معالم قيعان البحار والمحيطات، وأفادت بوجه خاص عن وجود منظومة بارزة تمثل سلسلة جبال في منتصف المحيط، لا تمتد فقط هابطة إلى أسفل المحيط الأطلسي، بل ويتشكل منها ما يشبه العمود الفقري في منتصف البحر الأحمر. وشهدت الحرب العالمية الثانية تحسنا هائلا في التكنولوجيا المستخدمة في مثل هذا النوع من الأعمال، وشجعت الحرب الباردة على الاستمرار في توفير مستوى عال من التمويل على نحو ما نرى، إذ أصبحت الغواصات النووية أهم منظومات التسلح. ونذكر على سبيل المثال أن معهد سكريبس لعلوم المحيطات في الولايات المتحدة بلغت ميزانيته قرابة 100 ألف دولار في العام 1941، ويبلغ عدد طاقم العاملين فيه 26، ويمتلك سفينة صغيرة. ولكن في العام 1948 بلغت ميزانيته مليونا، وزاد طاقم العاملين فيه إلى 250، مع امتلاكه لأربع سفن(*). وطبيعي لم يكن متوقعا أن تتوافر هذه الموارد لمعهد سكريبس ولغيره من الباحثين في شؤون المحيطات. ومن

(*) الأرقام من Le Grand.

المعروف أن الجيولوجيين في أربعينيات القرن العشـــرين ذهبوا إلى أن قاع المياه يمثل أقدم قشرة لكوكب الأرض، بل إن أنصار الزحزحة القارية ذهبوا هـــذا المذهب. ونظرا إلى الاعتقاد بأنها قديمة فقـــد رؤي أن قيعان المياه هي الأخرى مغطاة بكميات ضخمة من الترسبات القديمة التي تآكلت من اليابسة على مدى الدهور، وكونت طبقة غير محددة المعالم يتراوح سمكها بين 5 و10 كم. وساد اعتقاد أيضا بأن القشرة الأرضية ذاتها تحت الراسب يصل سمكها إلى عشرات الكيلومترات، مثل قشرة القارات. ولكن ثبت خطأ كل هذه الأفـــكار بعد الحصول على عينات من قاع المحيط، وبعد عمليات المســـح للمحيطات، إذ توجد فقط شـــريحة دقيقة من الترســـبات، وليس منها أي شـــيء من حواف القارات. وتبين أن جميع الصخور في قاع المياه حديثة التكوين، وأن أحدثها مجاورة لحواف المحيط، التي تمثل جيولوجيا قسمات نشطة حيث النشاط البركاني في أعماق المياه يحدد مسار أخدود في القشـــرة الأرضية، وهكذا يقال إن بعـــض الصخور هناك كأنها حرفيا مولودة أمس، بمعنى أن ميلادها حدث بعد أن جمدت وتصلبت، وقد كانت جزءا من الصهارة (الماغما) - Magma الذائبة. وأوضحت عمليات المسح الســـيزمي للزلازل أن سمك قشرة كوكب الأرض يصل إلى ما بين 5 و7 كم تحت المحيطات، هذا مقارنة بســـمك قشرة القارات الذي يصل متوسطه إلى 34 كم (إذ أن سمك قشرة القارات يتراوح ما بين 80 و90 كم).

نموذج تمدد أرضية البحار

اســـتطاع الجيولوجي الأمريكي هاري هيس (1906-1969)، من جامعة بريتســـنون، أن يضع أجزاء لعبة الصـــور المقطعة في مكانها لتظهر لنا صورة متلاحمـــة، وذلك في العام 1960، ويحمل هذا النموذج اســـم «تمدد أرضية البحـــار»(*)، ويقضي هذا النموذج بأن سلاســـل جبـــال المحيطات ناتجة عن تيارات الحمل في المادة السائلة لغطاء الأرض (طبقة من صخور تشبه الدبس تحت القشـــرة الصلبة مباشـــرة) التي تطفر إلى أعلى من العمق الواقع تحت الســـطح. وهذه المادة الدافئة ليســـت ســـائلة بالمعنى الذي تقوله عن أن مياه

(*) مصطلح «تمدد أرضية البحار» ظهر أولا في بحث منشور العام 1961م.

المحيطات «سائلة»، لكنها ساخنة بالدرجة التي تجعلها تتدفق ببطء نتيجة عملية الحمل، وهي تشبه قليلا الزجاج الساخن(*). ويحدد النشاط البركاني، علاوة على سلاسل جبال المحيطات، الموضع الذي تشق خلاله هذه المادة طريقها إلى السطح. وتتمدد عندئذ على أي من جانبي سلسلة الجبال، دافعة القارات إلى أي من جانبي حوض المحيط بعيدا عن بعضها، حيث الصخور الأحدث عمرا تتجمد قرب سلاسل الجبال اليوم، بينما الصخور الأقدم التي استقرت منذ عشرات أو مئات ملايين السنين تكون بعيدة عن سلاسل الجبال، حيث جرى دفعها إلى هناك لتفسح مجالا للمادة الجديدة. وليست ثمة حاجة لكي تشق القارات لنفسها مكانا في القشرة الأرضية للمحيطات، حيث إن عمليات مسح أرضية المحيطات لم تكشف عن دليل يؤكد ذلك. ومن الملاحظ أن قشرة أرض المحيطات الجديدة التي نشأت بهذه الطريقة تعمل على توسيع الأطلسي بمعدل حوالي 2 سم في السنة، أي تقريبا حوالي نصف السرعة التي قال بها هولمز. ونجد بعضا من أصداء أفكار هولمز في نموذج هيس، ولكن الفارق الحاسم يتمثل في أن هولمز يتحدث فقط في إطار المصطلحات العامة تأسيسا على القوانين الأساسية للفيزياء، هذا بينما يقدم هيس دليلا مباشرا يوضح ما يجري في الواقع، وبوسعه أن يحدد في عملياته الحسابية أرقاما مستمدة من عمليات قياس للقشرة الأرضية للمحيطات. وأغفل هولمز إلى حد كبير أحواض المحيطات في نموذجه، وذلك بسبب ندرة ما هو معروف عنها وقتها. ولكن بعد استيعاب إنجازات هيس استيعابا كاملا، الأمر الذي استغرق جل ستينيات القرن العشرين، أصبحنا نرى أحواض المحيطات أنها مواقع الفعل المؤثر في الزحزحة القارية، حيث القارات نفسها محمولة حرفيا للانتقال نتيجة نشاط مقترن بقشرة قيعان المحيط.

وإذا كان الأطلسي آخذا في الاتساع فإن هذا لا يعني أن كوكب الأرض آخذ في التمدد بالنسبة اللازمة لتفسير تكون حوض الأطلسي خلال مائتي مليون سنة، أو ما يعادل تقريبا 5 في المائة من عمر الأرض، وهي

(*) نعرف الآن جيدا القسمات العامة المميزة للبنية الباطنية لكوكب الأرض، بعد أن تم سبر باطن الكوكب من خلال دراسة الموجات «السيزمية» للقنابل النووية بتفجيرها تحت الأرض أثناء الحرب الباردة، لكن للأسف فإن تفاصيل ذلك لا مجال لمناقشتها، مثلها مثل الكثير من تفاصيل العلم الحديث.

النسبة التي تقضي بها هذه القياسات. ونعرف أن تيارات الحمل صاعدة في بعض الأماكن، ولكنها هابطة في أماكن أخرى. والعنصر الرئيسي الثاني في نموذج هيس لتمدد أرضية البحار هو رأيه في أنه في بعض أنحاء العالم (خاصة على امتداد حافة المحيط الهادي) هبطت قسرا قشرة محيطية رقيقة تحت حواف قشرة قارية أكثر سمكا، وانزلقت إلى ما دون الطبقة الواقعة ما بين القشرة ومركز الأرض mantle، ويفسر لنا هذا وجود أخاديد محيطية شديدة العمق في تلك الأنحاء من العالم، أو يفسر كذلك حدوث زلازل وبراكين في أماكن مثل اليابان، وهناك في الحقيقة تفسير لظهور جزر مماثلة لليابان يفيد بأنها ظهرت بفعل النشاط التكتوني، أي البنائي(*)، الناجم عن تشوه في بنية القشرة الأرضية والمقترن بهذا الوجه من تمدد أرضية البحار. والجدير بالذكر أن المحيط الأطلسي آخذ في الاتساع، بينما المحيط الهادي آخذ في الضيق. وإذا استمرت هذه العملية، فإن أمريكا وآسيا في الواقع ستصطدمان وتتلاحمان لتكونا قارة أما جديدة. في هذه الأثناء، يكتمل البحر الأحمر بسلاسله الجبلية المتمددة ليكون موقعا لإقليم جديد لنشاط فائر يؤدي إلى تصدع القشرة الأرضية، والذي يفضي إلى فصل أفريقيا بعيدا عن شبه الجزيرة العربية التي تتجه شرقا.

ومع تطور النموذج، أصبح في الإمكان أيضا تفسير قسمات معينة مثل فلق سان أندرياس في كاليفورنيا، حيث أدى اتساع الأطلسي إلى دفع أمريكا في اتجاه الغرب لتتجاوز منطقة تمدد أقل نشاطا، والتي كانت موجودة في السابق، فيما كان منذ مئات ملايين السنين حوضا أوسع من حوض المحيط الهادي. وتمثل الفلوق التي تشبه فلق سان أندرياس دليلا تفصيليا يدعم الأفكار الجديدة، على نحو ما تسرع بعض الجيولوجيين في تحديد ذلك. إذ في هذه المواضع تتحرك كتل من القشرة الأرضية متجاوزة بعضها البعض بنسبة بضع سنتيمترات في السنة، وهي تقريبا السرعات نفسها اللازمة للتصور الجديد عن الزحزحة القارية، فضلا عن أنها برهان يؤكد أن كوكب الأرض «الصلب» لم يثبت أبدا في صورة نمط

(*) تكتوني (Tectonic) تعني حرفيا: نشاطا بنائيا، وهي مأخوذة من الكلمة اليونانية التي تعني بناء.

جغرافي أبدي. وثمة تناظر تقليدي لم يطرأ عليه أبدا أي تحسن يفيد بأن تمدد أرضية البحار يشبه سير الناقلة البطيء الذي يتحرك إلى ما لا نهاية في حلقات ودوائر. إن كل شيء على ظهر الكوكب يتغير أو يزول ولكن الكوكب باق على حجمه كما هو (*).

إن نموذج هيس والدليل الذي ارتكز عليه ألهم جيلا جديدا من علماء فيزياء الأرض لمواجهة التحدي بشأن صوغ نظرية كاملة توضح كيف تتطور الأرض منذ بداية النشأة. ونذكر واحدا من أهم المشاركين ضمن من يمكن أن نسميهم فريق عمل، وهو دان ماكينزي (المولود في العام 1942)، من جامعة كيمبريدج، ويتذكر ماكينزي(**) أن الأمر كان بداية محاضرة ألقاها هيس في جامعة كيمبريدج العام 1962، وقتما كان ماكينزي لايزال طالبا، وأن المحاضرة ألهبت خياله وجعلته يبدأ في التفكير في المشكلات المتبقية والمطلوب حلها عن طريق النموذج، والبحث عن دليل آخر يدعمه. وثمة بعض كبار علماء فيزياء الأرض في كيمبريدج أثارت اهتمامهم هذه المحاضرة وكانت مصدر إلهام لهم، كان منهم اثنان، أحدهما طالب الدراسات العليا فريدريك فاين (1937-1988)، والمشرف على رسالته دروموند ماثيوس (المولود في العام 1931)، واشترك الاثنان في العام التالي لإنجاز عمل محدد رئيس يربط الدليل على انقلابات اتجاه المغناطيسية الأرضية بنموذج تمدد أرضية البحار للزحزحة القارية.

وبحلول مطلع ستينيات القرن العشرين، ومع تنامي كتلة المعلومات المتوافرة عن تاريخ مغناطيسية الأرض المستمدة من القارات، بدأت الجهود لرسم خارطة نموذج المغناطيسية في مختلف أنحاء البحار، واستخدام الباحثون في هذا سفن مسح تجر أجهزة قياس مغناطيسي، وبدأت أول عملية مسح تفصيلية في شمال شرق المحيط الهادي قبالة جزيرة فانكوفر، حول منطقة جيولوجية باسم سلسلة جبال هوان دي فيوكا. وكشفت عمليات

(*) ثمة ما يرقى إلى مستوى الدليل ويفيد بأن عمليات إعادة البناء الجغرافي للقارات الأم القديمة هي الدليل الأفضل إذا كان كوكب الأرض يتمدد فعلا بنسب ضئيلة جدا منذ تفتت القارة الأم الأولى بانجيا. وهذا أمر مثير للفضول، لكن حتى لو ثبت الدليل على قدميه فإن النتيجة اللازمة عنه ما هي إلا بعض التفصيلات، وليس العامل الرئيسي الدافع للزحزحة القارية.

(**) محادثة مع جون غريبين 1967م.

المســح هذه عن نمط مخطط مسارات للمغناطيسية في صخور قاع البحر، وتتجه المســارات بدرجة ما شــمال - جنوب، ولوحظ في أحد الخطوط أن الصخور تتمغنط في تطابق مع المجال المغناطيســي المعروف لنا اليوم، ولكن في خطوط مجاورة نجد الصخور تتخذ المغناطيســية المقابلة. ولوحظ عند رســمها في صورة نقاط على خريطة، مع تظليل أحد الاتجاهات بالأســود والآخر بالأبيض، أن النمط أصبح يشبه شفرة السلع المخططة إلكترونيا مع بعض التشــوش. وذهب فاين وماثيوس إلى أن هــذه الأنماط حدثت نتيجة تمــدد قاع البحــار. ورأيا أن الصخــرة المنصهرة تتدفق من سلســلة جبال محيطية وتســتقر لتتمغنط بالمغناطيســية المطابقة للمجال الأرضي وقتها. ولكن الدليل المســتمد من القارات كشف عن أن المجال المغناطيسي للأرض عكــس اتجاهه من وقت إلى آخر(*). وإذا صدق كل من فاين وماثيوس، فإن هــذا يعني أمرين، أولا: أن نمط المســارات المغناطيســية على قاع المحيط ينبغي ربطه بنمط انقلابات اتجاه المغناطيســية الأرضية التي كشفت عنها الصخور القارية، وهو ما يوفر لنا ســبيلا لمراجعة النمطين كل منهما مقابل الآخر، وأن نصقل تحديد التاريخ المغناطيسي للصخور. ثانيا: وحسبما ذهب هيس، حيث إن تمدد القشرة يكون في اتجاه مستو على جانبي سلسلة جبال المحيط، فإن نمط المغناطيســية الذي نشاهده على أحد جانبي هذه الجبال ســيكون مرآة أو صورة عاكسة للنمط الذي نشاهده على الجانب الآخر من سلســلة الجبال. وإذا صح هذا، فســوف يكون تأكيدا مثيرا للدهشــة بأن نموذج تمدد قاع البحر يمثل وصفا جديدا لكيفية تحولات كوكب الأرض.

تطورات جديدة عن الزحزحة القارية

يمكــن القول إنه في ضوء المعلومات المحدودة المتاحة في العام 1963، كانت الحجــج التي عرضها فاين وماثيوس مجرد مصادر إيحاء وليســت دليلا قاطعــا يدعم الأفكار عن تمدد أرضية البحــار والزحزحة القارية.

(*) غيــر معــروف بالضبط حتى الآن لمــاذا يحدث هذا؟ لكن ثمة اعتقــادا أنه ناتج عن ظاهرة الدينامــو الذي يعمل في القلب الســائل لكوكب الأرض، الذي يتضــاءل حتى يفنى ثم يعود بناؤه ثانية في الاتجاه المعاكس. والأمر المثير أن الشمس التي نعتقد أن بها دينامو باطنيا مماثلا، يطرأ عليها نمط مماثل من انقلابات اتجاه المغناطيسية (Magnetic reversals)، لكنها أسرع وأكثر انتظاما ومقترنة بدورة البقع الشمسية التي تحدث كل 11 سنة على وجه التقريب.

ولكن فاين، بالتعاون مع هيس وعالم الفيزياء الأرضية الكندي توزو ويلسون (1908-1993)، طوروا الفكرة كثيرا وجمعوا من كل أنحاء العالم المعلومات الجديدة المتاحة عن المغناطيسية، واستطاعوا على الفور أن يصوغوا رؤية مقنعة. ونجد من بين الاسـهامات الرئيسـية التي قدمها ويلسون التحقق من أن تمدد سلسلة جبال مثل تلك الممتدة في قاع الأطلسي ليست بحاجة لكـي تكون علـى هيئة متصلة ببعضهـا، ولكن يمكن أن تكـون مؤلفة من قطاعات محدودة أزيحت جانبا بعيدا عن بعضها (وفقا لما يسـمى أخطاء التحول Transform faults)، كأنها لم تكن سيرا ناقلا للحركة عريضا، بل سلسلة من سيور ناقلة للحركة تقع جنبا إلى جنب، وأنجز دورا رئيسيا في سبيل تجميع كثير من الأفكار، المتعلقة بالصيغة الجديدة عن هذه الأفكار، وهو الذي سـك مصطلـح «صفيحة» (Plate) للدلالة على أحد الأقسـام التي تنقسـم فيها قشرة الأرض في حركتها المسـتمرة (القشرة المحيطة، أو القاريـة، أو كلتاهما معا) والتي تتحرك بفعل قوى مقترنة بتمدد أرضية البحار والزحزحة القارية.

وتوافر الدليل القاطع الداعم لنموذج تمدد أرضية البحار في العام 1965، وذلـك حين أنجز فريق بحث على متن سـفينة الأبحاث التانين (Eltanin) ثلاث عمليات مسـح مغناطيسـي مسـتعرض عبر سلسلة جبال تعرف باسم تل شرق المحيط الهادي. وكشفت عمليات المسح عن تشـابه ملحوظ بين المسارات المغناطيسية في تل شرق المحيط الهادي والمسارات المغناطيسية في سلسلة جبال هوان دي فيوكا، لكنها كشفت أيضـا عن تماثل واضح بـين الجانبين، كأن النمط علـى أحد جانبي التـل، صورة مرآة للنمـط على الجانب الآخر من التـل، بحيث إذا ما طوينـا الخرائط على امتداد الخط الذي يوضح سلسـلة الجبال نجد النقطتين تتطابقان كل منهما مع الأخرى، وأعلنت النتائج في أبريل من العام 1966 أثناء اجتمـاع الاتحاد الجيوفيزيقي الأمريكي المنعقد في واشنطن العاصمة، ثم نشـرتها مجلة «العلم» (Science) (*) في ورقة بحث كحدث تاريخي مميز.

(*) انظر W. C. Pitman and J. P. Heirtzler, Science, Vol. 154. pp. 1164 -71, 1966.

مطابقة بولارد للقارات

في هذه الأثناء، اطرد ازدهار النهج التقليدي في تجميع عناصر الدليل الداعم للزحزحة القارية. ففي مطلع ستينيات القرن العشرين، ناصر بولارد (الذي أصبح الآن رئيس قسم الجيوديسي Geodeasy (أو علم المساحة التطبيقية والفيزياء الأرضية في كيمبريدج) الاعتقاد القائل إن الدليل الجيولوجي الداعم لفكرة الزحزحة تغلب على مشكلات النموذج التي صادفتها في عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين، وعرض قضية الزحزحة والعوامل المؤيدة لها على اجتماع للجمعية الجيولوجية في لندن في العام 1963، وساهم في العام التالي في تنظيم ندوة لمدة يومين تناقش الزحزحة القارية في الجمعية الملكية، حيث نوقشت جميع الأعمال المنجزة أخيرا، لكن المفارقة أن التأثير الأكثر كان لصالح صيغة جديدة لفكرة قديمة جدا، وهي إعادة بناء أجزاء لعبة الصور المقطعة للقارة الأم بانجيا. واستخدمت عملية إعادة البناء ما سبق تقديمه باعتباره منهجا موضوعيا مؤسسا على قاعدة رياضية لتحريك الأجسام على سطح كرة (فرضية أويلر)، وتمثل عملية إعادة البناء «أفضل مطابقة»، وفق التحديد الرياضي، والتي زودنا بها حاسوب إلكتروني لكي يزودنا بمطابقة موضوعية غير منحازة. وبدت النتيجة مذهلة من حيث تماثلها لمطابقة فيغنر عن القارات، وهي للحقيقة لم تضف جديدا غير النزر اليسير. لكن في العام 1964، كان الناس لايزالون مذهولين بالحواسب الإلكترونية، ولعل ما هو أهم بكثير أنهم، على عكس الحال قبل أربعين عاما، كانوا مؤمنين بأهمية عامل تجميع عناصر الدليل لأخذ موضوع الزحزحة القارية مأخذا جادا، وأيا كانت الأسباب النفسية فإن مطابقة بولارد المنشورة في العام 1965(*) توارت كلحظة حاسمة في قصة تطور نظرية الزحزحة القارية.

تكتونية الصفائح الأرضية

مع نهاية العام 1966 أصبح الدليل الداعم للزحزحة القارية وتمدد أرضية البحار دليلا مقنعا تماما، وإن لم يتم بعد تجميع عناصره في حزمة واحدة كاملة. وتصدت الأغلبية العظمى من شباب الباحثين

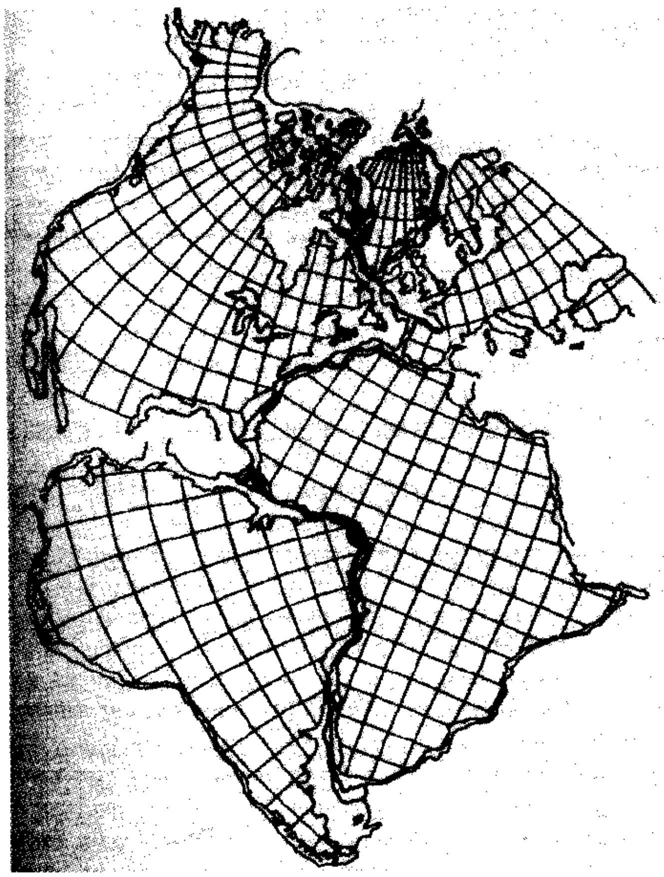
(*) بلاكيت، بولارد، ورنكورن، «نقاش حول الجرف القاري»، A Symposium on Continental Drift.
(*) مجلد 216، ص 1276–1280 .

المعنيين بفيزياء كوكب الأرض للمشكلة، وتسابقوا ليكونوا الأوائل في نشر آرائهم. وكسب السباق دان ماكينزي (حديث العهد بدرجة الدكتوراه التي حصل عليها في العام 1966) وزميله روبرت باركر الذي نشر بحثا في مجلة «نيتشر» (Nature) في العام 1967(*)، وقدم فيه مصطلحا جديدا هو تكتونية الصفائح الأرضية(Plate Tectonic) للدلالة على جماع حزمة الأفكار، واستخدمه ليصف تفصيلا النشاط الجيوفيزيائي لمنطقة المحيط الهادي - صفيحة المحيط الهادي، كما هو معروف الآن في ضوء طريقة تحرك الصفائح على صفحة كرة (فرضية أويلر للمرة الثانية). وتوصل جاسون مورغان، من جامعة برنستون، إلى فكرة مماثلة نشرها بعد بضعة أشهر، لكن كانت لاتزال بها تفصيلات كثيرة يلزم استيفاؤها (ولاتزال موضوع بحث الآن)، وهذا هو ما يشار إليه أحيانا على أنه «الثورة في علوم الأرض»(**)، التي اكتملت مع نهاية العام. وجوهر تكتونية (بنيوية) الصفائح الأرضية هو أن المناطق الهادئة زلزاليا في الكرة الأرضية إنما هي هادئة لأنها مؤلفة من صفائح صلبة (ست صفائح كبرى، وحوالي اثنتا عشرة صفيحة صغيرة فيما بينها، وتغطي كل سطح الكرة الأرضية). وقد تكون صفيحة واحدة مؤلفة فقط من قشرة أرضية محيط أو قشرة أرضية قارة أو كليهما، لكن أغلبية النشاط الجيولوجي المهم الذي يجري على سطح الكرة الأرضية إنما يحدث عند الحدود الواقعة بين الصفائح - حواف الصفائح. والحواف البنائية هي المناطق التي تتكون فيها، كما رأينا، قشرة محيطية جديدة عند سلاسل مرتفعات المحيط، وتتمدد عند أي من الطرفين. أما الحواف الهدامة أو التدميرية فهي التي تندفع فيها صفيحة إلى أسفل طرف الصفيحة الأخرى لتغوص بزاوية 45 درجة تقريبا، لتنصهر كما كان في الماضي في «الماغما» أو الصهارة في العمق. والحواف المحافظة هي المناطق التي لا تكون القشرة فيها مستحدثة ولا مدمرة، لكن صفائحها تحتك

(*) المجلد 216، ص 1276-1280 .

(**) طبيعي أنها لم تكن ثورة، ونأمل أن نكون وضحنا طريقة تطور الأفكار، حيث تعمل العقول الجديدة في صبر ودأب تأسيسا على أفكار جديدة وفق النهج المعتاد لتقدم العلم، أي أن الثورات العلمية هي في جوهرها أسطورة عشقها علماء الاجتماع الذين لم يسبروا أغوار العلم،

ببعــض عند أحد الجوانب مقابل أحدها بالآخر أثناء الدوران، على نحو ما يحدث اليوم على امتداد فلق سان أندرياس. والجدير بالذكر أن دليلا مثــل الدليل على وجود سلاســل جبال قديمة وقيعان بحار ســابقة في وســط القارات اليوم إنما يوضح أن كل هذا النشــاط التكتوني (النشاط الخاص بتغير بنية القشــرة) ظل يحدث دائما منذ زمن قديم وقبل تفتت القــارة الأم بانجيا، ويوضح كذلــك أن القارات القديمة الكبرى تحطمت عدة مرات ويعاد تكوينها حســب أنماط مختلفة بتأثير النشاط الحادث دوما على سطح كوكب الأرض غير المستقر على حال.



34 - مطابقة بولارد للقارات مستعينا بالحاسوب قبل فتحة الأطلسي

وعندما أُسســت الجامعــة المفتوحة في بريطانيا العــام 1969 كانت هذه الأفكار، وبقية الحزمة التي تؤلف معا تكتونية الصفائح الأرضية، قد أصبحت شائعة مألوفة لدى أصحاب المهنة، كما اشتملت الصحف الشعبية علــى صفحات في صورة تقاريــر عنها على نحو ما نجــد في صحيفتي ســاينتيفيك أمريــكان Scientific American ونيــو ساينتيســت New

Scientist، لكن الملاحظ أنها لم تجد سبيلا بعد إلى الكتب الدراسية. وأصبح لزاما على هيئة تدريس الجامعة المفتوحة، إذا شاءوا مواكبة أحدث المعلومات والحفاظ على صورة حية عن المؤسسة الفتية الإسراع في تجميع النص الخاص بهم، أول ما تم إنجازه بشأن النظرية الشاملة عن تكتونية الصفائح الأرضية. وإذا كان لنا أن نرسم خطا في مكان ما ليكون معلما فاصلا، فإننا نعتقد أن نشر كتاب «فهم كوكب الأرض» (Understanding the Earth) (*) الصادر في العام 1970، أي بالدقة مع نهاية العقد الذي شهد ما سمي «الثورة» في علوم الأرض، يمكن بشكل ملائم (مع قدر من التعسف) اعتباره اللحظة التي أصبحت فيها نظرية الزحزحة القارية هي العقيدة الراسخة الجديدة، والانتصار العظيم الأخير للعلم الكلاسيكي.

وبمجرد أن تم اعتماد حقيقة زحزحة القارات، حتى ساعدت النظرية على وضع أساس جديد لفهم قسمات أخرى مميزة لكوكب الأرض، خاصة العلاقة بين الكائنات الحية وبيئة الكوكب المتغيرة. ولنا أن نوضح بجلاء قيمة ما هيأته لنا هذه الرؤية النافذة، وذلك من خلال مثال. نعرف أن ألفريد والاس وقتما كان يعيش لفترة في جزر أرخبيل الملايو لحظ وجود اختلاف واضح بين أنواع الشمال الغربي وأنواع الشمال الشرقي. إن هذه المنطقة الواقعة بين آسيا وأستراليا زاخرة بالجزر ذات الأحجام المختلفة، أكبرها بورنيو ونيوغينينا حتى أصغرها مثل الجزر المرجانية الصغيرة، وتكشف النظرة الأولى عن عدم وجود موانع لا سبيل إلى تجاوزها تحول دون حركة الأنواع بين الاتجاهين. بيد أن والاس اكتشف أن بوسع المرء أن يحدد شريطا ضيقا على الخارطة (يعرف الآن باسم خط والاس)، يمتد بشكل ما من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي فيما بين بورينيو ونيوغينينا، حيث نجد أحياء حيوانية آسيوية مميزة شمال غرب هذه المنطقة الانتقالية وأحياء حيوانية أسترالية مميزة في الجنوب الشرقي، مع قليل من الغموض أو الضبابية بين الاثنين. وبدا هذا وقتها لغزا محيرا، لكن يمكن تفسيره في سياق تكتونية الصفائح الأرضية، إذ تكشف الدراسات الحديثة عن أنه أثناء تفتت القارة الكبرى الجنوبية غوندوانالاند

(*) شارك في تحريره غاس وسميث وويلسون.

انقسمت الهند - آسيا أولا وتحركتا في اتجاه الشمال الغربي، حيث أحدث الانتخاب الطبيعي ضغوطا تطورية مختلفة عن الضغوط التطورية التي أثرت في أستراليا - القطب الجنوبي التي تخلفت وراءها. وعرفنا أنه في طور تال من النشاط التكتوني انفصلت أستراليا - نيوغينيا عن القطب الجنوبي وتحركتا شمالا بسرعة (وفقا لمعايير الزحزحة القارية) لتلحقا بعد ذلك بآسيا. ومنذ عهد قريب جدا اقتربت القارتان كثيرا جدا كل منهما بالأخرى، ولم يكن ثمة وقت لكي تمتزج الأنواع من أي من الجانبين بشكل واضح وكبير عبر خط والاس. وحدث أن علق فيغنر نفسه على هذه الإمكانية (إذ كتب في الطبعة الثالثة من كتابه في العام 1924، أي بعد خمس وستين سنة فقط من تاريخ إصدار داروين ووالاس نظريتهما عن الانتخاب الطبيعي، وبعد إحدى عشرة سنة فقط من وفاة والاس)، لكن نظرية تكتونية الصفائح الأرضية هي التي أثبتت صدق الفكرة.

الجدير بالذكر أن الزحزحة القارية وثيقة الصلة بالكثير من جوانب تطور الحياة على الأرض، ووثيقة الصلة بشكل خاص بموضوعنا عن كيف صقل العلم فهمنا للعلاقة بين البشر والكون بعامة، وكذا إزاحتنا نحن البشر بشكل مستمر من موقع المركز بفضل الاكتشافات الجديدة؟ ونعرف أن تشارلز داروين، مثل والاس، فسر لنا كيف يحدث التطور، لكنه قبل أن يفعل ذلك كان باحثا جيولوجيا، ويقينا أنه كان سيشعر بفضول معرفي وسعادة لو علم بالفهم الحديث الذي وفره لنا العلم عن طريقة حدوث الزحزحة القارية والمناخ، وكيف أثر الاثنان معا في تشكل نوعنا. وتبدأ هذه المرحلة مع قصة العصور الجليدية.

قصة عصور الجليد: جان دو شاربنتيير

وحتى قبل بداية القرن التاسع عشر كان هناك من يعتقدون أن عصور الجليد في أوروبا حدثت على فترات ممتدة في الماضي أكثر مما هو حادث اليوم. وأوضح دليل على ذلك هو وجود جلاميد ضخمة سقطت بعيدا عن طبقاتها ثم حملتها إلى هناك الأنهار الجليدية التي سبق لها أن ذابت ثم ارتدت، لذلك ليس لنا أن ندهش إذ نجد أن واحدا من أوائل من لفتوا

الأنظار إلى ما يســمى الكتل الصخرية الضالة (Erratics) كان السويسري برنــار كون في العام 1787، لكن الأكثر إثــارة للعجب أن تكونت لديه مثل هذه الفكرة، على الرغم من أنه كاهن، وكانت الحكمة السائدة وقتذاك أن جميع الظواهر المماثلة يمكن تفسيرها في ضوء أحداث الطوفان التي قال عنها الكتاب المقدس، مهما كانت الرؤية الشـعبية لدى سـكان الجبال وما تكشف عنه الأحداث اليومية عن ظواهر الأنهار الجليدية. وطبيعي أن كان كل امرئ تقريبا مستسـلما للحكمة الموروثـة، بينما أنصار الاعتقاد بتكون عصور الجليد لتفسـير الكتل الصخرية الضالة كانوا قلة قليلة على مدى العقود التاليــة. ونذكر من بين هذه القلة جيمس هاتون، الذي كان مقتنعا بالدليل الذي شـاهده في أثناء زيارة له لجبال جـورا. الجدير بالذكر أن النرويجي ينس إسـمارك كتب في عشرينيات القرن التاسع عشر، وكذلك الألماني رينهارد بيرناردي، الذي عرف أعمال إسـمارك ونشـر مقالا في العام 1842، قد أشـار الاثنان إلى أن القمة الجليدية القطبية سـبق أن امتـدت جنوبا حتى وصلت إلى وسـط ألمانيا. حدث هـذا قبل عام واحد فقط من توصل تشـارلز ليبل إلى فكـرة أن الكتل الصخرية الضالة نقلها في الحقيقة الجليد، وليست الأنهار الجليدية، وذهب في المجلد الثالث من كتابه «مبادئ الجيولوجيا» إلى أن كتلا ضخمة من الجلاميد كانت مطمورة في جبال الجليـد العائمة (iceberg)، والتي حملتهـا فوق أرماث جليدية (Ice Rafts) طفت على سـطح طوفان هائل. ولكن السلسـلة التي قادتنا عمليا إلى نموذج صحيح لعصور الجليد لم تبدأ مع أي من الأسماء الكبرى التي عرفها العلم في القرن التاسـع عشـر، بل بدأت مع بطل تسلق جبال سويسري يدعي جان - بيير بيرودين (*).

لحظ بيرودين فـي الوديان الجبلية التي خلـت الآن من الجليد أن السـطوح الصخرية التي لم تتأثر بالعوامل الجوية بسـهولة حدثت بها ندوب نتيجة شيء ضاغط ضغط بقوة عليها، وأدرك أن التفسير الأرجح هو أنه تكونت بها حفر بفعل صخور تكسرت فوقها حملتها أنهار جليدية قديمة. وكتب في العام 1815 عن هذه الأفكار إلى جان دو شـاربنتيير

(*) ليس بطل تسـلق جبال بالمعنى الرياضي الراهن بل هو شخص اعتاد أن يكسب رزقه للعيش من فوق الجبال عن طريق قنص ظباء الشمواه.

الــذي كان يعمل وقتذاك مهندس تعدين، واشـــتهر أيضا كعالم طبيعي له اهتمامات جيولوجية، وهي الشــهرة التي امتدت إلى آفاق بعيدة عن نطاق مهنته. ولد باسم جوهان فون شاربنتيير في العام 1786، في بلدة فريبرغ الألمانية، ولكنه نزح إلى سويســرا في العام 1813 واتخذ اسمه صيغة فرنســية. واســتقر هناك في بيكس في وادي آر بقية حياته إلى أن توفــي في العام 1855، وجد شــاربنتيير أن فكرة «الكتل الصخرية الضالة» التي حملتها الأنهــار الجليدية فكرة تنطوي على مبالغة كبيرة يصعــب قبولها، هذا على الرغم من أنه لم يكن بالمثل متحمســا للفكرة القائلــة إن المياه هي التي حملتها إلى مواقعها الراهنة. وواصل بيرودين - بفضل تحليه بالشــجاعة - عرض الدليل على كل من يقبل الاستماع إليه، ووجد جمهــورا متعاطفا من بينه أغنــاس فينيتس، وهو مهندس إنشــاء طرق رئيســية هيأت له مهنته، مثلما هي الحال مع شاربنتيير، رصيدا كبيــرا من المعارف الخاصة بالجيولوجيــا. وبدأ فينيتس يقتنع تدريجيا بالدليل، بما في ذلك أكوام المخلفات التي تم العثور عليها على بعــد كيلومترات بعيدا عن نهاية نهر فليش الجليــدي، والتي بدت أنها المحطــة الأخيرة لمخلفات جليدية (أكوام من المخلفات الجيولوجية التي تخلفت عند الحــدود النهائية للأنهار الجليديــة)، ويرجع تاريخها إلى زمــن امتدت فيه الأنهار الجليديــة حتى وصلت بعيدا إلى الوادي. وفي العام 1829 عرض الأمر بشــأن عصور التجمــد الجليدي قديما على الاجتماع الســنوي للجمعية السويســرية للعلوم الطبيعية، حيث لم يكن هناك سوى شــخص واحد مقتنع بذلك، وهو دو شــاربنتيير، الصديق القديم الذي سبق أن ناقش معه بعض هذه الأفكار. حمل دو شاربنتيير لواء الريادة، وشرع في جمع مزيد من الأدلة على مدى السنوات الخمس التالية، وعرض المســألة مع قدر كبير من الحــرص على جمعية العلوم الطبيعيــة فــي العام 1834، ويبــدو أن لا أحد اقتنع هــذه المرة (ربما الســبب جزئيا أن نموذج لييل عن الأزمــات الجليدية بدا لهم أنه كاف لحل الألغاز الواردة لتفســير الكتل الصخرية الضالة في إطار الطوفان العظيم). ولكن شخصا واحدا من جمهور المستمعين من الأعضاء، وهو

لويس أغاسيز، اهتاج وغضب للفكرة، حتى أنه حسبما يقضي التراث العلمي - في أحسن الأحوال - عقد العزم على تفنيدها لينهي وإلى الأبد أي نقاش بين الناس بشأن هذا الهراء.

لويس أغاسيز والنموذج الجليدي

أغاسيز (الذي حمل اسم التعميد جين لويس رودولف، وإن ظل معروفا باسم لويس) كان شابا مندفعا. ولد في موتيير - آن - فولي في سويسرا يوم 28 مايو 1807، ودرس الطب في زيوريخ وهيدلبرغ وميونخ قبل النزوح إلى باريس في العام 1831، حيث تأثر هناك بالعلامة جورج كوفيير (الذي اقتربت حياته آنذاك من نهايتها)، وسبق أن وجه اهتمامه إلى علم الإحاثة، ثم سرعان ما أصبح أهم خبير عالمي في موضوع الأسماك المتحجرة. وفي العام 1832، عاد أغاسيز إلى سويسرا، حيث شغل منصب أستاذ التاريخ الطبيعي في جامعة جديدة ومتحف تاريخ طبيعي أسس في نيوشاتل، عاصمة الإقليم الذي نشأ وترعرع فيه. واتصف هذا الجزء من سويسرا وقتذاك بمكانة مزدوجة. إذ منذ العام 1707 فصاعدا كان هذا الجزء، على الرغم من أن سكانه يتحدثون الفرنسية، يدخل ضمن نطاق سلطة ملك بروسيا (فيما عدا فترة قصيرة هي فترة خلو العرش النابليوني). وفي العام 1815، انضمت نيوشاتل إلى الاتحاد السويسري، غير أن الرابطة البروسية ظلت لا هي رابطة معترف بها رسميا، ولا هي مرفوضة (وهذا أحد الأسباب أن أغاسيز درس في ألمانيا)، وكانت الكلية الجديدة مدعومة بتمويل بروسي. ولقد كان أغاسيز على معرفة سابقة بدو شاربنتيير عند توليه المنصب (إذ التقيا وقتما كان أجاسيز لايزال طالبا بالمدرسة في لوزان)، وكان أجاسيز يحبه ويحترمه، وسبق له أن زار العجوز أثناء عطلة، ولكنه يعمل فيها مثل الأيام الاعتيادية، وبحثا معا أثناء الزيارة جيولوجيا المنطقة حول بلدة بيكس. وحاول دو شاربنتيير إقناع أغاسيز بحدوث عصر جليدي كبير؛ وحاول أغاسيز إيجاد دليل يثبت أن هذا لم يحدث.

وبعد انقضاء صيف آخر في حوار جيولوجي مع دو شاربنتيير حول جيولوجيا بلدة بيكس في العام 1836، أصبح أغاسيز مقتنعا تماما

وتبنى القضية بحماس من يؤمن بعقيدة جديدة تحول إليها. وفي 24 يونيو 1837 أذهل أهل العلم من أعضاء الجمعية السويسرية للعلوم الطبيعية (المجتمعين كالعادة في نيوشاتل) بأن خاطبهم بحكم دوره الرئاسي للجمعية ليس في موضوع المحاضرة المتفق عليها سلفا عن الأسماك المتحجرة، بل قدم لهم عرضا مثيرا يدعم نموذج العصور الجليدية، واستخدم في عرضه مصطلح العصر الجليدي (Eizeit)، واستعار أغاسيز المصطلح من عالم النبات كارل شيمبر، وهو صديق وزميل له). وأحدثت الفكرة هذه المرة أصداء واسعة. ليس لكون الناس مقتنعين بها، لكن بسبب حماسة أغاسيز ووضعه كرئيس، ما يعني ألا سبيل لتجاهل ما قيل. واستطاع أيضا أن يجذب إليه الأعضاء المترددين في الجمعية ويصحبهم إلى قمم الجبال ليشاهدوا الدليل بأنفسهم، موضحا لهم الندوب التي تغطي أسطح الصخور الصلبة، والتي تخلفت عن تكون عصور الجليد (والتي فسرها بعض الحاضرين على أنها نتيجة حركة عجلات العربات التي سارت فوقها). لم يتأثر زملاء أغاسيز بما قال، لكنه مضى في طريقه لا يلوي على شيء؛ عاقدا العزم على ضرورة اكتشاف دليل حاسم يدعم نموذج العصور الجليدية. ووصولا إلى هذه الغاية أقام أغاسيز محطة رصد صغيرة (هي أساسا كوخ صغير) على نهر آر الجليدي لقياس حركة الجليد، عن طريق دق أوتاد في النهر وملاحظة سرعة حركته. وكم كانت دهشته كبيرة حين زار الموقع في ثلاثة مواسم صيف تالية ليكتشف أن الجليد تحرك أسرع مما كان يتوقع، وأنه استطاع بالفعل أن يحمل معه جلاميد ضخمة جدا. وإذ أثارت هذه الاكتشافات خيال أغاسيز، فقد نشر في العام 1840 (بشكل خاص في نيوشاتل) كتابه «دراسات عن الأنهار الجليدية» الذي وضع بشكل حاسم نموذج العصور الجليدية في قلب الحوار العام.

وحقيقة الأمر أن أغاسيز تجاوز الهدف تماما. إذ كم هو عسير ألا يجلس المرء ليسجل ملاحظاته عن عالم (سواء بالتأييد أو المعارضة) يؤكد أن الكوكب كله غطاه الجليد في السابق، ويصوغ قضيته بلغة من هذا النوع:

إن حدوث الغطاء الجليدي الضخم لا بد أنه تسبب في تدمير وهلاك جميع الحياة العضوية الموجودة على سطح الأرض. إن أرض أوروبا التي كانت في السابق تغطيها النباتات الاستوائية وتسكنها قطعان الفيلة الضخمة وفرس النهر بأحجامه الكبيرة واللواحم العملاقة أصبحت فجأة مدفونة تحت غطاء جليدي واسع جدا يغطي السهول والبحيرات والبحار وما يشبه الهضاب. وساد صمت الموت عقب ذلك... جفت الينابيع، وتوقفت الأنهار عن الجريان، وسطعت أشعة الشمس فوق شطآن متجمدة... ولم يكن هناك سوى ريح الشمال ودمدمة الصدوع التي تتشقق عبر سطح محيط ضخم من الجليد.

هذه المبالغات النزقة أثارت ضيق كثيرين بمن فيهم دو شاربنتيير الذي نشر رأيه الخاص والأكثر رصانة (وإن كان أقل إمتاعا) عن نموذج العصر الجليدي في العام 1841، وأسهم هذا في ترسيخ جذور صيغة أغاسيز عن عصور الجليد في معسكر أصحاب التفسير الكارثي، لأنه ألقى الأضواء فجأة عليها وقلل من فرصها في أن تلقى قبولا لدى لييل وأشياعه. ولكن عناصر الدليل اطرد تراكمها إلى أن أصبح من العسير على الأقل إغفال حقيقة حدوث عصر جليدي ضخم، واقتنع لييل بعد وقت قليل أن النموذج يمكن تخليصه من قسماته الكارثية لجعله أكثر قبولا لدى أصحاب النظرة التماثلية.

وقبل ذلك بعدة سنوات زار أغاسيز بريطانيا لدراسة مجموعات من الأسماك المتحجرة. ومكث هناك بعض الوقت في أكسفورد بصحبة وليام بوكلاند، معلم لييل العجوز (وإن كان لايزال محافظا على نظرته الكارثية)، أصبحا صديقين. وبعد عام من الحديث الذي ألقاه أغاسيز في نيوشاتل وأصاب زملاءه بالذهول، شارك بوكلاند في لقاء علمي في فريبرغ، حيث استمع إلى أغاسيز وهو يعرض أفكاره، ثم سافر بعد ذلك هو وزوجته إلى نيوشاتل ليشاهد الدليل بنفسه. أثار الواقع فضوله واهتمامه وإن لم يقتنع مباشرة. ولكن أغاسيز قام في العام 1840 برحلة أخرى إلى بريطانيا

لدراسة الأسماك المتحجرة، وسنحت له الفرصة لحضور الاجتماع السنوي للرابطة البريطانية لتقدم العلم (انعقد الاجتماع هذه السنة في غلاسكو) لكي يعرض نموذجه عن عصر الجليد، وعقب الاجتماع انضم أغاسيز إلى بوكلانـــد وعالم جيولوجي آخر هو رودريك مورشيســـون (1792-1871) في رحلة ميدانية عبر إســـكوتلندا، حيث تهيأ الدليل الداعم للنموذج الذي أقنع أخيرا بوكلاند بصواب رأي أغاســـيز. واتجه أغاســـيز بعد ذلك إلى إيرلندا، بينما ذهب بوكلاند في زيارة إلى كينوردي حيث قصدها تشـــارلز وماري لييل للبقاء هناك بعد اجتماع غلاســـكو. واســـتطاع خلال أيام أن يقنع لييل استنادا إلى الدليل الذي يوضح حدوث عصر جليدي في المنطقة المجاورة تماما. وكتب أغاسيز في 15 أكتوبر في العام 1840 ما يلي:

> لقـــد تبنى لييل نظريتـــك بالكامل! عندمـــا عرضت عليه مجموعـــة جميلة من المخلفـــات الجليدية موجـــودة على بعد ميلين من منزل والـــده، وافق عليها على الفور، إذ رآها تحمل كما كبيرا من المشـــكلات التي حيرته طوال حياته. وليس هذا فقط، بـــل إن مجموعة أخرى من المخلفـــات الجليدية وفتات هذه المخلفات، والتي تغطي الأقطار المحيطة، أصبح ميســـورا فهمها وتفسيرها في ضوء نظريتك، وقبل اقتراحي بأن يثبتها فـــورا على خريطة للبلد، ويصفها في ورقة بحث ليقرأها على الجمعية الجيولوجية في اليوم التالي لمحاضرتك (*).

لـــم يكن الحوار مع لييل مثيرا على نحو ما يبدو من هذا الكلام، إذ إن هذه الفقرة توضح أنه كان مشغول الفكر بشأن معرفة أصل هذه القسمات الأيديولوجية، وســـبق له أيضا أن زار الســـويد في العام 1834، حيث لم يكن ليخطئ ملاحظة الدليل على حدوث عصر جليدي حتى إن لم يتســـن له تفســـيرها على هذا النحو مباشـــرة. وإذا ما قارنا القول بحدوث عصر جليـــدي بمقولة الطوفان العظيم (الذي لايـــزال البديل المفضل)، يبين لنا أن القـــول بعصر جليدي يدخل ضمن نطاق النظرة التماثلية، إنه يعني في النهاية وجود أنهار جليدية على كوكب الأرض اليوم.

(*) الاقتباس من إليزابيث كاري أغاسيز.

كان بوكلاند يشير في رسالته هذه إلى اجتماع قادم للجمعية الجيولوجية في لندن، حيث تضمنت قائمة المتحدثين اسم أغاسيز. وهكذا تليت أوراق بحث كل من أغاسيز نفسه وبوكلاند ولييل، وكلها تدعم نموذج العصر الجليدي، واستمر عرضها على مدى اجتماعين للجمعية، ثم قرئت في 18 نوفمبر و2 ديسمبر. وانقضى عشرون عاما أخرى لكي يصبح النموذج مقبولا بالكامل، بيد أننا التزاما بهدفنا هنا لنا أن نذكر تلك الاجتماعات التي ضمت مثل هؤلاء الأعلام من نجوم علم الجيولوجيا، حتى أن بوكلاند ولييل شرعا في التبشير بأن الحقيقة هي اللحظة التي ظهر معها نموذج عصر الجليد. وكان السؤال التالي المهم الذي تتعين الإجابة عنه هو: ما الذي جعل كوكب الأرض أبرد أثناء عصر الجليد؟ لكن قبل النظر في كيفية الإجابة عن السؤال حري أن نلقي نظرة عجلى على ما حدث لأغاسيز بعد العام 1840م.

في العام 1833 تزوج أغاسيز من سيسيل براون، وهي فتاة التقاها وهي طالبة في هايدلبرغ. عاش الزوجان في البداية حياة سعيدة للغاية، وأنجبا ولدا (الكسندر، المولود في العام 1835)، ثم بنتين (باولين وإيدا). لكن في منتصف أربعينيات القرن التاسع عشر تدهورت العلاقة بينهما، ثم في ربيع العام 1845 غادرت سيسيل سويسرا لتعيش مع أخيها في ألمانيا، واصطحبت معها ابنتيها وتركت الابن الأكبر ليكمل مرحلته التعليمية في سويسرا. واجه أغاسيز في هذه الفترة مصاعب مالية شديدة (أحد الأسباب التي أسهمت في تحطيم الزواج)، وسبب الأزمة هو تورط طائش في مشروع نشر فاشل. ونراه إزاء هذا الوضع يترك أوروبا في العام 1846 من أجل القيام، وفق ما هو مفترض، برحلة طويلة تستغرق عاما إلى الولايات المتحدة - ليشاهد المعالم الجيولوجية في العالم الجديد، ويراها بأم عينيه، ثم ليلقي سلسلة من المحاضرات في بوسطن. وكم كانت سعادته غامرة لما شاهده من أدلة وفيرة تؤكد حدوث عصر الجليد. شاهد بعضها خلال مشيه لمسافة قرب مينائي هاليفاكس ونوفا سكوتيا، حيث رست السفينة قبل مواصلة الرحلة إلى بوسطن - وشعر بالغبطة أيضا إذ اكتشف أن أفكاره عن عصور الجليد لم تسبقه فقط عبر الأطلسي، بل صادفت قبولا واسع

النطاق بين علمـــاء الجيولوجيا الأمـريكيين. وابتهج بالمثل علماء الجيولوجيا الأمريكيون بلقاء أغاسيز، وأبدوا رغبتهم وإصرارهم على بقائه معهم. وفي العام 1847، أنشأت هارفارد كرسيا جديدا خصيصا له، وهو ما أسهم في حل مشـــكلاته المالية كما كفل له ركيزة أكاديمية آمنة. وعمل أســـتاذا لعلم الحيوان والجيولوجيا وبقي هناك بقية حياته، وأســـس متحفا لعلم الحيوان المقـــارن في العام 1859 (وهو العام نفســـه الذي صدر فيـــه كتاب داروين «أصل الأنواع»). وأحدث أغاســـيز أثرا كبيرا في تطور طريقة تدريس مواده العلمية في الولايات المتحدة، مؤكدا الحاجة إلى إجراء بحوث تطبيقية عند دراســـة الظواهر الطبيعية، وتميز أيضا بأنه محاضر محبوب ســـاعد على ذيوع الاهتمام بالعلم خارج الجامعة، لكن لا أحد يكون كاملا إذ إن أغاســـيز ظل حتى نهاية حياته رافضا لنظرية الانتخاب الطبيعي.

وتأكد صواب الانتقال إلى أمريكا، وأنه جاء في الوقت المناسب لأسباب سياسية وشخصية معا. إذ في العام 1848 اتسعت موجة النشاط الثوري في أوروبا حتى غمرت نيوشـــاتل وانقطعت كل الروابط مع بروسيا. كذلك الكليـــة (التي ارتقت فعلا إلى مســـتوى الأكاديمية فـــي العام 1838 وكان أغاســـيز رئيســـها) فقدت موارد تمويلها وأغلقت. وشجعت الاضطرابات التي عمت أوروبا كثيرين من علماء الطبيعيات على عبور الأطلســـي، حيث جاء بعضهم للعمل مع أغاســـيز، مما أدى إلى ازدهار مســـتوى العمل في هارفـــارد. وجاءت الأنباء أيضا فـــي العام 1848 من أوروبا لتنعى نبأ وفاة سيسيل بداء الســـل. وذهبت باولين وإيدا للعيش مع جدتهما السويسرية، روز أغاســـيز، بينما بقي أخوهما (الذي انضم إلى الأسرة في فريبرغ قبل عام فقـــط) مع عمه في فريبرغ حتى يكمل دراســـته. وفـــي العام 1849 التحـــق الكســـندر بكيمبريدج، ماساتشوســـتس. وأصبح عالـــم طبيعيات متميزا، وأســـس الفرع الأمريكي لأسرة أغاســـيز. وفي العام 1850 تزوج لويس للمرة الثانية من اليزابيث كاري، وأحضر ابنتيه، وقد أصبح عمر كل منهمـــا 13 و9، من أوروبا لتنضما إلى العائلة. وتمتع قرابة ربع قرن بحياة زاخرة بالســـعادة المنزلية والنجاح الأكاديمي في بلده الجديد، إلى أن توفي في كيمبريدج يوم 14 ديسمبر من العام 1873م.

النظرية الفلكية عن عصور الجليد

الجذور الأولى لما يسمى أحيانا النظرية الفلكية عن عصور الجليد تعود إلى اكتشاف يوهانز كيبلر في مطلع القرن السابع عشر، حين اكتشف أن مدارات الكواكب (بما فيها كوكب الأرض) حول الشمس مدارات إهليليجية وليست دائرية. ولكن القصة تبدأ حقيقة مع نشر كتاب عنوانه «ثورات البحر» في العام 1842، لعالم الرياضيات الفرنسي جوزيف أديمار (1797-1862)، وصدر هذا الكتاب فور أن أصدر أغاسيز كتابه عصور الجليد. إذ نظرا إلى أن كوكب الأرض يدور في فلك إهليليجي حول الشمس فإن جزءا من مداره (لفترة من السنة) يكون فيه أقرب إلى الشمس عن الجزء الآخر من المدار (في النصف الآخر من السنة). علاوة على هذا، فإن محور دوران الأرض يكون مائلا بالنسبة إلى خط يربط كوكب الأرض في دورانه بالشمس بزاوية 23.5 درجة عن الوضع العمودي. ونظرا إلى الأثر الجيروسكوبي لدوران الشمس، فإن هذا الميل يشير دائما على مدى زمني، سنوات أو قرونا، إلى الاتجاه نفسه بالنسبة إلى النجوم، وهو ما يعني أننا ونحن ندور حول الشمس فإن أحد نصفي الكرة الأرضية ثم الآخر من بعده يميل في اتجاه الشمس، ويستمد الفائدة الكاملة من دفء الشمس. وهذا هو سبب حدوث فصول السنة (*). وفي الرابع من يوليو من كل عام يكون كوكب الأرض في أبعد موقع له من الشمس، بينما في الثالث من يناير يكون في أقرب موقع له، لكن الفارق يصل إلى أقل من 3 في المائة، حيث إن متوسط البعد عن الشمس هو 150 مليون كم. ومن المعروف أن كوكب الأرض يكون في أبعد موقع عن الشمس في صيف نصف الكرة الشمالي، لذلك فإن حركته حينئذ تكون أبطأ حركة له في مداره (لنتذكر قوانين كيبلر). واستنتج أديمار (عن صواب) أنه نظرا إلى أن كوكب الأرض يتحرك على نحو أبطأ في أثناء الشتاء الجنوبي، فإن عدد ساعات الظلمة الشاملة التي يشعر بها أهل القطب الشمالي في الشتاء يكون أطول من عدد ساعات ضوء النهار في جملتها الذي

(*) وعلى مدى زمني يمتد الآلاف وعشرات آلاف السنوات، فإن هذا الميل يتأثر برجفات أو ترنحات مختلفة، وهو ما سوف نتناوله على الفور.

تستقبله المنطقة نفسها في الصيف الجنوبي عندما تكون الأرض في الطرف المقابل من مدارها وفي أسرع حركاتها. واعتقد أن هذا يعني أن منطقة القطب الجنوبي تزداد برودة بمضي القرون، وأن الغطاء الجليدي للقطب الجنوبي (الذي يعتقد أنها لاتزال تكبر) برهان على هذا.

نموذج المدار الإهليليجي

ولكن يمكن أن يحدث الشيء نفسه في اتجاه عكسي. إذ إن كوكب الأرض يرتج في أثناء الدوران، مثله مثل رأس المغزل، لكن لأنه أكبر كثيرا من لعبة الدوامة فإن الارتجاجات (المعروفة باسم تقدم الاعتدالين) تكون بطيئة وضخمة، وتجعل الاتجاه الذي يشير إليه محور دوران الأرض بالنسبة إلى النجوم يرسم دائرة في السماء مرة كل 22 ألف سنة (*). وهكذا فإن نمط الفصول في علاقته بالمدار الإهليليجي انعكس منذ 11 ألف سنة مضت، إذ كانت فصول شتاء الشمال تحدث وقتما تكون الأرض في أبعد مسافاتها عن الشمس، وفي أبطأ حركاتها. وتصور أديمار دورة بديلة للعصور الجليدية، حيث النصف الجنوبي أولا ثم النصف الشمالي بعد 11 ألف سنة مغطى بالجليد. ومع نهاية عصر الجليد وسريان الدفء في نصف الكرة المتجمد فإن البحار، وفق تصوره، تتآكل عند قاعدة رأس الجليد الضخمة وتحتها لتحولها إلى شكل يشبه الفطر، وتستمر عملية الحت إلى أن تنهار كل الكتلة الباقية وتسقط في المحيط، وتنشأ عنها موجة عارمة تندفع إلى داخل نصف الكرة المقابل، ومن هنا جاء عنوان كتابه. وواقع الأمر أن أساس نموذج أديمار برمته عرضة للشك مع تصوره لانهيار كل طبقات الجليد. إن فكرة تزعم أن أحد نصفي الكرة الأرضية يزداد دفئا بينما الآخر يزداد برودة فكرة ساذجة وخاطئة. وسبق أن قدم العالم الألماني الكسندر فون همبولت (1769-1859) في العام 1852 حسابات فلكية يعود تاريخها إلى أكثر من مائة العام قبل عالم الرياضيات الفرنسي جان داليمبر (1717-1783) بينت أن ظاهرة البرودة التي اعتمد عليها أديمار إنما توازنت بالدقة (لا بد أن تكون مضبوطة ودقيقة، لأن

(*) تكشف الحسابات الحديثة عن أن الدورة تتفاوت من 23 ألفا إلى 26 ألف سنة على فترات زمنية أطول، وذلك نتيجة لتفاعلات الجاذبية مع أجسام أخرى في النظام الشمسي.

كلتا الظاهرتين رهن قانون التربيع العكسي) بفضل فائض الحرارة الذي يكتسبها نصف الكرة نفسه في الصيف عندما تكون الأرض في أقرب مواقعها من الشمس. معنى هذا أن إجمالي كم الحرارة التي يكتسبها كل من نصفي الكرة الأرضية على مدار السنة واحد دائما، مثل إجمالي كم الحرارة التي يكتسبها على مدار السنة نصف الكرة المقابل. وطبيعي أنه خلال القرن العشرين تحسن فهمنا للسجل الجيولوجي، كما تيسرت لنا تقنيات النشاط الإشعاعي لتحديد التاريخ. وتأكد لنا بفضل ذلك أن لا وجود لنمط التبادل بين الشمال والجنوب لتكونات الجليد كل 11 ألف سنة. ولكن على الرغم من خطأ نموذج أديمار، فإن كتابه كان هو الشرارة التي حفزت الشخصية التالية في تاريخ قصة التفكير بشأن التأثيرات المدارية على المناخ.

جيمس كرول

ولد جيمس كرول في كارغيل في إسكوتلندا يوم الثاني من يناير من العام 1821، كانت الأسرة تمتلك قطعة أرض صغيرة جدا، غير أن مصدر الدخل الرئيسي أتى من عمل وجهد الأب كرول، الذي كان يعمل بناء. معنى هذا أنه كان دائم الترحال في أغلب الأوقات تاركا أسرته للعمل بالزراعة. تلقى الصبي التعليم الأساسي فقط، ولكنه اعتاد القراءة بنهم وتعلم أساسيات العلم بنفسه من الكتب. حاول العمل في مهن عديدة متباينة، بداية من إصلاح الطواحين، لكنه وجد أن «الميل الطبيعي القوي لعقلي يتجه إلى التفكير المجرد مما جعلني غير متلائم مع تفاصيل العمل اليومي»(*). وتعقد الأمر أكثر عندما أصيب مرفق ذراعه اليسري في حادثة أثناء الطفولة، ما أدى إلى تيبس حركة الذراع حتى كادت تصبح عديمة النفع. وطبيعي أن هذا حد من فرص كرول للعمل، ولكنه هيأ له وقتا أطول للتفكير والقراءة. وألف كتابا بعنوان «فلسفة الإيمان بالآلهة» الذي صدر في لندن في العام 1857، لكن ما يثير الدهشة أنه أتى بعائد مالي ضئيل. وبعد عامين وجد ضالته في وظيفة عامل نظافة في كلية

(*) للاطلاع على عرض إجمالي للسيرة الذاتية لحياة كرول، انظر آيرونز والاقتباسات الأخرى الواردة عن كرول من المصدر نفسه.

آنديرسونيان، وفي متحف في غلاسكو. ويقول في هذا الصدد «أرى إجمالا أنني لم أجد نفسي يوما في مكان أكثر ملاءمة لي من ذلك... حقا كان راتبي ضئيلا، أكثر قليلا مما يكفي لكي أعيش حياة الكفاف، بيد أن هذا عوضني بمزايا من نوع آخر». يقصد هنا سهولة الوصول إلى المكتبة العلمية الرائعة في كلية أنديرسونيان، حيث الهدوء والسلام ووقت وفير للتفكير. وقرأ كرول من بين ما قرأ كتاب أديمار، وشغلت فكره، من بين أمور أخرى، طريقة حدوث التغيرات في شكل مدار كوكب الأرض، وكيف يؤثر هذا في المناخ.

وهذه الفكرة مستمدة من التحليل التفصيلي الدقيق لطريقة حدوث التغيرات في مدار كوكب الأرض بمرور الزمن، والتي قدمها عالم الرياضيات الفرنسي أوربين ليفرييه (1811-1877). وجدير بالإشارة أن أهم ما نذكره عن ليفرييه هو جهوده التي أدت إلى اكتشاف الكوكب نبتون العام 1846 (أجرى جون كاوتش آدامز (1819-1892) في إنجلترا الحسابات نفسها بصورة مستقلة). ويمثل هذا إنجازا عظيما تنبأ بوجود الكوكب نبتون تأسيسا على قوانين نيوتن وطريقة اضطراب الحركة المدارية في مدارات الكواكب الأخرى بسبب تأثير غير مرئي للجاذبية، بعد حساب تأثير الجاذبية لكل الكواكب المعروفة، وكيف تؤثر في بعضها البعض. ويمثل هذا حدثا أعمق كثيرا من اكتشاف وليام هيرشيل (1738-1822) للكوكب أورانوس العام 1781، هذا على الرغم من أن اكتشاف أورانوس أحدث إثارة واسعة النطاق باعتباره أول كوكب يتم اكتشافه منذ القدماء. جاء اكتشاف هيرشل بمنزلة ضربة حظ (بدرجة ما كان بناء أفضل تليسكوب في العالم هو ضربة حظ). لكن وجود نبتون (شأن عودة المذنب هالي العام 1758) قد تم التنبؤ به على أساس رياضي، ويمثل هذا أفضل دفاع عن قوانين نيوتن وعن المنهج العلمي. لكن عملية التنبؤ انطوت على عمليات حسابية رهيبة تعتمد على الورقة والقلم في تلك الأيام السابقة على ظهور الحاسوب، وتمخضت هذه العمليات المجهدة عن نتائج مثمرة، من بينها أكثر التحليلات دقة في ذلك الوقت عن كيفية حدوث التغيرات في شكل مدار كوكب الأرض على مدى زمني يصل تقريبا إلى 100 ألف

سـنة يبين منها أن المدار يكون أحيانـا أكثر إهليليجية وأحيانا أخرى أكثر دائرية. وعلى الرغم من أن إجمالي كم الحرارة التي يستمدها الكوكب في مجموعه على مدار سنة كاملة كم واحد دائما، فإنه حين يكون المدار دائريا فإن كم الحرارة التي يستمدها الكوكب من الشمس كل أسبوع يكون واحدا على مدار السنة. وحين يكون المدار إهليليجيا فإن الحرارة التي يستمدها الكوكب في أسبوع وقت قربه من الشمس تكون أكثر من الحرارة المستمدة عندمـا يكون عند الطرف الآخر من المدار. وتسـاءل كرول: هل يمكن أن يفسر لنا هذا سبب العصور الجليدية؟

واسـتحدث نموذجا يفترض أن العصر الجليـدي يحدث وقتما يعاني نصف الكرة الشـمالي أو الجنوبي من فصول شتاء شديدة البرودة، وجمع بـين كل من التغيرات التي تطرأ على الشـكل الإهليليجي وفق حسـابات ليفرييـر وتأثير ظاهرة تقدم الاعتدالين، وذلك لإنتـاج نموذج يتبادل فيه حدوث عصـور الجليد في كل نصف من نصفي الكـرة الأرضية، وتدخل جميعهـا فـي إطار عصر جليدي ممتـد لمئات آلاف السـنين. ووفق هذا العصر يكـون كوكب الأرض عاش في عصر جليدي منذ 250 ألف سـنة وحتى 80 ألف سنة مضت، وأنها منذ ذلك التاريخ تمر بمرحلة دفء فيما بين العصور، وهي المرحلة التي اصطنع لها اسـم ما بين العصور الجليدية (Interglacial) . واسـتطرد كرول إلى مزيد مـن التفاصيل، بما في ذلك مناقشـة صائبة عن دور تيارات المحيطات في المناخ، وذلك في سلسلة من أوراق البحث التي اسـتهلها بأول منشـور له عن عصور الجليد في المجلة الفلسـفية (Philosophical Magazine) في العام 1864، وهو في الثالثة والأربعين من العمر. وأثار عمله هذا على الفور اهتماما كبيرا، وسرعان ما حقق كرول حلم حياته في أن يصبح عالما متفرغا للعلم. وقبل هذا في العام 1867 شغل منصبا في المسـاحة الجيولوجية لإسكوتلندا. كذلك فإنه في العام 1876، بعد نشر كتابه «المناخ والزمان» انتُخب زميلا للجمعية الملكية (ربما هو الوحيد الذي كان سـابقا عامل نظافـة ويحظى بهذا التكريم). وصـدر له بعد ذلـك كتاب آخر عنوانه «المنـاخ والكوزمولوجيا» (أي المناخ وعلم الكـون)، وذلك في العام 1885، وقد بلغ كرول من العمر آنذاك 64

عامــا. ووافته المنية في بيرث يوم 15 ديســمبر العام 1890، بعد أن رأى نموذجه لعصر الجليد أصبح مقبولا على نطاق واســع وحقق نفوذا كبيرا علــى الرغم من أنه لا توجد في الواقع ســوى بينــات جيولوجية محدودة للغاية هي التي تدعمه.

وأوضح كرول في كتابه «المناخ والزمان» الســبيل لمزيد من التحسينات على النموذج الفلكي لعصور الجليد بأن أشــار إلــى أن التغيرات في ميل زاويــة الكرة الأرضية يمكن أن يكون لهــا دور. وكان معروفا أيام كرول أن الميــل يتغير (وأن كوكــب الأرض يتحرك إلى أعلى وإلى أســفل فيما بين طرفــي زاوية الميل التي تتراوح بين 22 و25 درجة عاموديا)، لكن لا أحد، ولا حتى ليفربيير نفســه، حســب بدقة كم حركة الكوكب صعودا وهبوطا والمدى الزمني (أنها فعليا تستغرق نحو 40 ألف سنة لكي تهبط إلى أعلى عــن أقصى وضــع عامودي ثم تعــود إلى حيث بــدأت). وذهب كرول في تأملاتــه إلى أنه حين تكون الأرض في أقصــى وضع عامودي لها، يصبح العصــر الجليدي أكثــر ترجيحا، نظرا إلى أن كلا مــن منطقتي القطبين تســتمد أقل كمية حرارة من الشمس، بيد أن هذا لم يزد على كونه مجرد تخمين. ومع نهاية القرن التاســع عشــر، بدأت تتهــادى كل حزمة الأفكار وتغدو مرفوضة، نظرا إلى أن دليلا جيولوجيا بدأ يتصاعد مؤكدا أن آخر عصر جليدي لم ينته منذ 80 ألف ســنة، بل منذ ما بين 10 آلاف أو 15 ألــف ســنة مضت، وهو ما يخرج تماما عما قاله كــرول. إذ معنى هذا أن نصف الكرة الشــمالي كان غارقا في أكثــر الفترات برودة في آخر عصر جليــدي وليس في فترة دفء على مدى 80 ألف ســنة، أي النقيض تماما لما اقتضاه نمــوذج كرول (وهو أيضا مفتاح مهم لحل اللغز، وإن لم يلتقطه أحــد آنذاك). وتوصل علماء الأرصاد بحســاباتهم في الوقت نفســه إلى أن التغيرات في كم الحرارة الشمســية الناتجة عن هذه الظواهر الفلكية هــي ضئيلة جدا، وإن كانت صحيحة، بحيث لا تغني لتفســير الاختلافات فــي درجات الحرارة بين عصــور الجليد وفترات ما بــين عصور الجليد (Interglacial)، لكن الدراســات الجيولوجية كشــفت عن وجود سلســلة متعاقبة من عصور الجليد، وأن النموذج الفلكي يتنبأ، ما لم يحدث شــيء

آخر، بدورات جليد في إيقاع متكرر. وجدير بالذكر هنا أن الشخص الذي تصدى لهذه المهمة المروعة لتحسين وتطوير الحسابات الفلكية وبيان ما إذا كانت الـدورات تتطابق مع الأنماط الجيولوجية هو مهندس صربي يدعى ميلوتين ميلانكوفيتش، المولود في دالي يوم 28 مايو 1879 (يصغر شهرين فقط عن البرت آينشتين).

نموذج ميلانكوفيتش

في تلك الأيام كانت صربيا حديثة العهد بتحولها إلى مملكة مستقلة بعد قرون من الهيمنة الأجنبية (خاصة الترك)، على الرغم من أنها كانت ولاية ذات استقلال ذاتي في ظل التبعية التركية منذ العام 1829، وتعتبر جزءا من دويلات البلقان المضطربة، والتي بدأت تحقق قدرا متزايدا من الاستقلال في المساحة الواقعة بين الإمبراطورية التركية الآخذة في الانهيار في الجنوب والإمبراطورية المجرية النمساوية الفتية في الشمال. ويختلف ميلانكوفيتش عن كرول من حيث أنه تلقى تعليما تقليديا، وتخرج في معهد التكنولوجيا في فيينا مع حصوله على درجة الدكتوراه العام 1904، وبقي في فيينا وعمل مهندسا (في تصميم البنايات الأسمنتية الضخمة) لمدة خمس سنوات قبل العمل أستاذا للرياضيات التطبيقية في جامعة بلغراد، في صربيا العام 1909، وكانت هذه إلى حد كبير مقاطعة راكدة متخلفة بالقياس إلى فيينا ذات الأضواء المبهرة، حيث كان باستطاعة ميلانكوفيتش أن يبني لنفسه مكانة جيدة، بيد أنه كان يود أن يساعد بلده الذي ولد فيه والذي يراه في حاجة إلى مزيد من المهندسين المتدربين. ورأى أن أفضل وسيلة لتحقيق هذا الهدف هي أن يعمل بالتدريس. اشتغل بتعليم الميكانيكا، وإن درس أيضا الفيزياء النظرية والفلك. ولكنه في وقت ما، واتساقا مع هذا المسار، أبدى اهتماما شديدا بالمناخ. وبعد ذلك بوقت طويل (*) حدد بشكل رومانسي اللحظة التي قرر فيها استحداث نموذج رياضي لوصف حالات المناخ المتغيرة لكواكب الأرض والزهرة والمريخ وذلك خلال حوار بين سكارى على غداء في العام 1911،

(*) انظر Durch Ferne Welten und Zeiten، وهذا هو المصدر الرئيسي (وإن انطوى على قدر من الانحياز) للمعلومات عن السيرة الذاتية لميلانكوفيتش.

بينمــا كان ميلانكوفيتش في عامه الثاني والثلاثين، لكن لنا أن نأخذ هذا باعتبــاره نوعا من التوابل التي تضاف إلى القصة. المهم أن ميلانكوفيتش خلال هذه الفترة تقريبا اســتهل مشــروعا يهدف إلى حساب كيف تغيرت درجــات حرارة هذه الكواكب نتيجة تغير الإيقاعات الفلكية، ولم يشــأ أن يقتصــر فقط على الكيفية التــي ينبغي أن تكون عليهــا درجات الحرارة اليــوم عند خطوط كل من هذه الكواكب. وعرض وســيلة لاختبار النموذج الفلكي للمقارنة مع المشاهدات التي نرصدها على الأرض على أقل تقدير. ويقصد هنا درجات الحرارة الفعلية، وليس المزاعم الغامضة التي تزعم أن ثمة فتــرات زمنية لهذه الدورات كان أحد نصفي الكرة الأرضية أبرد مما كان فــي دورات أخــرى في فترات زمنية مختلفــة. ولم يعتمد في كل هذا على أدوات مســاعدة ميكانيكية - بل قوة عمل المخ والورقة والقلم فقط - ولــم يقتصر على كوكب واحد، بــل ثلاثة كواكب. وطبيعي أنه تجاوز بذلك كل ما شــغل بال كرول وتأمل فيه. ومع هذا كله فقد استهل ميلانكوفيتش جهــوده وقد توافرت لديه إضافة مهمة وكبيرة، وتمثلت هذه الإضافة فيما اكتشــفه من أن عالم الرياضيــات الألماني لودفيغ بيلغــريم قد فرغ فعلا (العام 1904) من حســاب طريقة حدوث التغيــرات في الأنماط الثلاثة الأساســية الخاصة باختلاف المركز (eccentricity) وتقدم محور الأرض (precession) ودرجة ميل كوكب الأرض (tilt) وذلك على مدى مليون سنة مضت، واستغرق منه هذا العمل ثلاثة عقود.

المناخ تحدده المســافة الفاصلة بين الكوكب والشــمس، وخط العرض المعني وزاوية سقوط أشعة الشمس على سطح خط العرض (*). وتتسم هذه الحسابات بأنها مباشرة من حيث المبدأ، لكنها مملة إلى درجة لا يصدقها عقل من حيث التطبيق، واســتغرقت فترة طويلة مــن حياة ميلانكوفيتش بحيث كانت تشــغله في البيت فترة من المســاء بشكل دائم. وجدير بالذكر أنــه اعتاد أن يصحب الكتــب والأبحاث ذات الصلة معــه في إجازاته مع زوجتــه وابنه. وحــدث في العام 1912 أن اندلعت أول حلقة في سلســلة حروب البلقــان. وهاجمت بلغاريــا وصربيا واليونــان ومونتنغرو (الجبل

(*) وتكوين الغلاف الجوي، وهو سبب ظاهرة الدفيئة. لكن بالنسبة إلى هذه العمليات الحسابية نفترض أن الغلاف الجوي ظل على التكوين نفسه طوال بضعة ملايين من السنين الماضية.

الأســـود) الإمبراطورية التركية، وحققت بســـهولة انتصارا وكسبت أرضا. وفي العام 1913، وبسبب الاختلاف على الغنائم، هاجمت بلغاريا حلفاءها الســـابقين ومنيت بالهزيمة. وطبيعي أن كل هذه الاضطرابات في البلقان أسهمت في نشوب الحرب العالمية الأولى العام 1914، عقب اغتيال فرانز فرديناند على يدي صربي من البوسنة في سراييفو في 18 يونيو من العام نفســـه. وخدم ميلانكوفيتش باعتباره مهندسا في الجيش الصربي خلال الحرب الأولى للبلقان، ولكن لم يكن في الخطوط الأمامية. وهيأ له وضعه هذا وقتا كافيا للتفكير في عملياته الحســـابية، وبدأ ينشر بحوثه في هذا العمل، موضحا بشـــكل خاص أن ظاهرة الميل أهم كثيرا مما تصور كرول. ولكن نظرا إلى أن هذه البحوث صدرت في صربيا في وقت الاضطرابات السياسية، فإنها لم تحظ بالاهتمام اللائق. وعندما اندلعت الحرب العالمية الأولـــى كان ميلانكوفيتش فـــي زيارة لبلدته التي ولد فيهـــا (دالي) وقتما اكتســـحها الجيش المجري النمســـاوي، وتحول إلى أســـير حرب. ولكن تم إطلاق ســـراحه مع نهاية الســـنة بعد أن وضحت مكانته كأكاديمي متميز. وسمحت له السلطات بالعيش في بودابست، وأن يجري عملياته الحسابية خلال الســـنوات الأربع التالية. ونشـــر في العام 1920 كتابا يتضمن نتائج هذا العمل المجهد، ووصفا للمناخ في المرحلة الراهنة على ســـطوح كل من الأرض والزهرة والمريخ. وصادف الكتاب ترحيبا واســـع النطاق، واشـــتمل الكتاب أيضا على دليل رياضـــي يؤكد أن التأثيرات الفلكية يمكن أن تغير كمية الحرارة الساقطة على خطوط عرض مختلفة على نحو كاف لإحداث عصور جليد، هذا على الرغم من أن ميلانكوفيتش لم يكن قد عرض بعد التفاصيل. ولكن سرعان ما التقط هذا الجانب من العمل فلاديمير كوبين، وانتهـــى بتوافق مثمر بين كوبين وميلانكوفيتش، وأدى كذلك إلى دمج هذه الأفكار في كتاب عن المناخ أصدره كوبين بالاشتراك مع ألفريد فيغنر.

وقدم كوبين فكرة رئيســـية جديدة لفهم كيـــف تؤثر الإيقاعات الفلكية فـــي مناخ الأرض. وأدرك أن المهم ليس درجة الحرارة في الشـــتاء، بل في الصيـــف. ورأى أن الجـــو كان دائما بـــاردا بما فيه الكفايـــة عند خطوط العرض العليا (كان يفكر بشـــكل خاص في حدود نصف الكرة الشـــمالي)

لكي يسقط الثلج في الشتاء. وأن السؤال المهم هو كمية الثلج التي تبقى من دون ذوبان في فصل الصيف. ولهذا فإن فصول الصيف الباردة هي المفتاح لفهم عصور الجليد، وليست فصول الشتاء شديدة البرودة، على الرغم من أن فصول الصيف الباردة تقترن بفصول شتاء معتدلة نسبيا. وهذه الآراء على النقيض تماما مما ذهب إليه كرول، وتفسر بشكل مباشر لماذا كان عصر الجليد الأخير قاسيا منذ نحو 80 ألف سنة خلت وانتهى منذ نحو 10 آلاف - 15 ألف سنة. ودرس ميلانكوفيتش هذه الظاهرة بالتفصيل وحسب تباينات درجات حرارة الأرض في ثلاثة خطوط عرض (55 درجة، و60 درجة، و65 درجة شمالا)، وحصل على ما يمكن وصفه بمطابقة جيدة للغاية بين الإيقاعات الفلكية ونمط عصور الجليد الماضية وفقا للدليل الجيولوجي المتاح في عشرينيات القرن العشرين.

ومع ذيوع هذه الأفكار من خلال كتاب كوبين وفيغنر «المناخ في الماضي الجيولوجي» بدا لفترة أن النموذج الفلكي لعصور الجليد اكتمل في صورة نظرية شاملة. ونشر ميلانكوفيتش في العام 1930 نتائج توصل إليها من خلال مزيد من العمليات الحسابية، وتخص هذه المرة ثمانية خطوط عرض مختلفة، وذلك قبل أن ينتقل لإجراء عمليات حسابية على مدى السنوات الثماني التالية لبيان الكيفية التي استجابت بها الرواسب الجليدية إزاء هذه التغيرات في درجات الحرارة. وجدير بالذكر أنه كان في المطبعة كتاب يوجز إنجازاته على مدى الحياة بعنوان «قانون كمية أشعة الشمس الساقطة على الأرض ومشكلة عصر الجليد» (Canon of insolation and the Ice Age Problem) وقتما اجتاحت القوات الألمانية يوغوسلافيا (التي نشأت عقب الحرب العالمية الأولى وضمت الصرب إليها) وذلك في العام 1941، وقرر ميلانكوفيتش، وهو في الثالثة والستين من العمر، أنه سيشغل كل وقته خلال فترة الاحتلال بكتابة مذكراته، والتي نشرتها بالفعل أكاديمية العلوم في صربيا العام 1952، وبعد فترة تقاعد هادئة توفي ميلانكوفيتش في 12 ديسمبر العام 1958، لكن بعد وفاته فقد نموذجه التأييد الذي حظي به في السابق بسبب ظهور دليل جيولوجي جديد أكثر تفصيلا (وإن كان لايزال غير كامل إلى حد بعيد).

أفكار جديدة عن عصور الجليد

لم تكن المعلومات الجيولوجية، في الحقيقة، كافية لعقد أي مقارنة حاسمة مع النموذج الفلكي التفصيلي الدقيق إلى حد كبير والمتوافر الآن. وسواء شئنا أو أبينا، فإن فئة بذاتها من المعلومات تمثل ندا للنموذج لم تكن لتكشف لنا عن أي حقيقة عميقة عن الطريقة التي تعمل بها آلية العالم. وكما هو الحال بالنسبة إلى فكرة الزحزحة القارية، فإن الاختبار الحقيقي سوف يتوافر من خلال توافر قياسات أفضل للسجل الجيولوجي وما يتضمنه من تقنيات وتكنولوجيات جديدة. وهذا هو ما تحقق في أوج صوره في سبعينيات القرن العشرين، إذ خلال هذا الوقت تحسن النموذج الفلكي ذاته (وغالبا ما يسمى نموذج ميلانكوفيتش) وبلغ درجة عالية من الدقة لم تكن تدور في خيال أحد، وذلك بفضل استخدام الحواسب الإلكترونية. وتوافر لنا الدليل الجيولوجي المفتاح من خلال رواسب من باطن الأرض استُخلصت من قاع البحار، حيث توجد طبقات بعضها فوق بعض من الرواسب التي تراكمت سنة بعد أخرى، وأمكن تحديد تواريخ هذه الترسبات مستخدمين تقنيات حديثة جدا من بينها التأريخ عن طريق النشاط الإشعاعي والهندسي، وتبين أنها تحتوي على آثار متبقية لكائنات دقيقة عاشت وماتت في المحيطات منذ زمن طويل. ووجدنا هذه المخلفات في صورة أصداف كلسية والتي خلفتها هذه الكائنات عند موتها. وتكشف الأصداف عند طبقة ما أي الأنواع من هذه الكائنات ازدهرت وكثرت في العصور المختلفة، وهذا في حد ذاته دليل يرشدنا إلى طبيعة المناخ. كذلك فإن تحليل نظائر الأكسجين لهذه الأصداف عند مستوى آخر، يكشف لنا عن مؤشر مباشر يدل على درجة الحرارة وقتما كانت هذه الكائنات نشطة، ذلك لأن الكائنات الحية تستهلك نظائر الأكسجين المختلفة بنسب مختلفة وفقا لدرجة الحرارة وكمية المياه التي يحتويها الكساء الجليدي. وجدير بالذكر أن جميع الإيقاعات الفلكية تكشف بوضوح في هذه السجلات، كأنها نبضات المناخ المتغير على مدى مليون سنة مضت أو أكثر. وتحددت لحظة الاعتماد النهائية للنموذج مع نشر ورقة بحث رئيسية تلخص

الدليل في مجلة «العلـــم» (Science) العام 1967(*)، وذلك بعد مائة عام تحديدا من تاريخ نشـــر كتاب «المناخ والزمـــان». بيد أن هذا خلف لنا سؤالا مثيرا للفضول والاهتمام، تبين فيما بعد أن له أهمية حاسمة لوجودنا: لماذا كوكب الأرض شـــديد الحساسية لهذه التغيرات التي من المســـلم به أنها تغيرات ضئيلة من حيث كمية أشـــعة الشمس التي تصل إلى خطوط العرض المختلفة؟

الإجابة عن الســـؤال تعيدنا إلى الزحزحـــة القارية. لنأخذ خطوة إلى الـــوراء بعيدا عن تغير المناخ في ضوء نموذج ميلانكوفيتش، وســـوف نجد أن الســـجل الجيولوجي الذي أضحى مفهوما جيدا الآن (ومحدد التواريخ بدقـــة) يخبرنا بأن الحالة الطبيعية لكوكب الأرض على مدة الفترة الغالبة مـــن تاريخه هي أنـــه كان خاليا تماما من الجليد (فيمـــا عدا، ربما، قمم الجبـــال العالية). إذ مادام أن تيارات المحيطـــات الدافئة يمكنها الوصول إلـــى المناطق القطبية، يصبح من غير المهم الســـؤال عـــن كمية ما يصلها من ضوء الشـــمس، حيـــث إن الماء الدافئ يمنع تكـــون جليد البحار. ولكن بين الحين والآخر وكما تكشـــف لنا ندوب الأنهـــار الجليدية القديمة، فإن أحـــد نصفي الكرة أو كليهما خـــلال فترات فاصلة تصل إلى مئات ملايين الســـنين يغرق في فترة برودة تمتد عدة ملايين من السنين. ولنا أن نسمي هذه الفترة عصرا Epoch، إذا ما أسقطنا المصطلح الذي استخدمه كرول وأضفينـــا عليه معنى مماثلا ولكن لمدى زمني أطول. مثال ذلك كان هناك عصر جليدي Ice Epoch، والذي استمر نحو 20 مليون سنة في الماضي خـــلال الدهر البرمـــي Permian Era، وانتهى عصر الجليد هذا منذ نحو 250 مليون ســـنة. وتفســـير مثل هذا الحدث هو أنه فيما بين فترة وأخرى تحمل عملية الزحزحة القارية مســـاحة ضخمة من سطح اليابسة فوق أو قرب أحد القطبين. ويؤدي هذا إلى أمرين: الأول أنه يقطع (أو على الأقل يعوق) مـــدد المياه الدافئة من خطوط العـــرض الأدنى، لذلك فإن المنطقة المتأثرة بذلك في الشـــتاء تصبح قارســـة البرودة. الثانـــي أن القارة تهيئ ســـطحا يســـقط عليه الثلج ويســـتقر ويتراكم، مما يؤدي إلى نشوء كساء

(*) I. J. D. Hags, J. Imbrie L N.J. Shachleton, ;Variations in the earth›s orbit: pacemakes of the ice Ages", Science, volume 194, pp. 112-1132, 1967.

جليـــدي ضخم. وتمثل قارة القطب الجنوبي اليوم مثالا رائعا لهذه العملية فـــي التطبيق التي ينتج عنها عصر جليـــدي، والذي تأثر على نحو طفيف بفعل الإيقاعات الفلكية.

بعـــد انتهاء عصـــر الجليد البرمـــي (Permian Ice Epoch) (بســـبب الزحزحة القارية التي فتحت الطريق مرة ثانية لكي تصل المياه الدافئة إلى المناطــق القطبية)، تمتع العالم بدفء امتد قرابة 200 مليون ســـنة، وهذه هـــي الفترة التي ازدهرت خلالها الديناصـــورات. لكن بدأت مرحلة برودة تدريجيـــة منذ نحو 55 مليون ســـنة، ثم عادت منذ نحو 10 ملايين ســـنة الأنهار الجليدية فوق جبال ألاسكا أولا، ثم بعد ذلك فوق القطب الجنوبي، حيث زاد الغطاء الجليدي زيادة كبيرة، حتى أنه منذ خمســـة ملايين ســـنة مضت كان أضخم مما هو الآن. وواقع الحال أن الأنهار الجليدية انتشرت فـــي نصفي الكرة في وقت واحد، وهذا رأي يكشـــف عن بصيرة ثاقبة. إذ بينما قارة أنتاركتيكا شملت القطب الجنوبي والأنهار الجليدية التي نشأت هناك بالطريقة التي وصفناها توا، بدأت أيضا منطقة القطب الشـــمالي تبرد حتى وصلت إلى التجمد، على الرغم من أن المحيط القطبي الشمالي، وليس اليابســـة، غطى القطب. وســـبب ذلك أن الزحزحة القارية صنعت تدريجيا حلقة كاملة من اليابســـة حول المحيط القطبي الشمالي، مما أدى إلى احتجاز كم كبير من المياه الدافئة حتى كان في وســـعها، لولا ذلك، أن تجعلها خالية من الجليد. جدير بالذكر أن وجود غرينلاند اليوم أدى بدلا من ذلك إلى انحراف مســـار التيار الدافئ لشمال الأطلسي، ليتجه شرقا حيث يدفئ الجزر البريطانية والمنطقة الشمالية الغربية من أوروبا. وتكون غطـــاء جليدي رقيق فوق المحيط القطبي، كما اســـتقرت كميات كثيرة من الجليد علـــى الأراضي المحيطة منذ نحو ثلاثة ملايين ســـنة. وطبيعي أن هذا الموقف، حيث المحيط القطبي تكتنفه يابســـة يمكن أن يســـقط عليها الثلج ويستقر فوقها، ولكن ليذوب في فصول الصيف الحارة، يكون شديد الحساســـية بخاصة للإيقاعات الفلكية. ولقد كان كوكب الأرض على مدى خمســـة ملايين ســـنة مضت، أو نحو ذلك، في حالة يمكـــن وصفها بأنها حالـــة فريدة في كل تاريخه، حيـــث تغطي كلا القطبين قمم جليدية ناتجة

عـن مجموعة أحداث جغرافيـة مختلفة متمايزة تتعلق باليابسـة والمياه. والملاحـظ أن هذه الأحـداث، وبخاصة جغرافية نصف الكرة الشـمالي، تجعل الكوكب حساسـا للإيقاعات الفلكية التـي تتجلى واضحة قوية في السجل الجيولوجي للأزمنة الجيولوجية حديثة العهد.

تأثير ذلك في التطور

أدى هذا النبض الإيقاعي للمناخ خلال عصر الجليد الراهن إلى حدوث سلسـلة متعاقبة من عصور جليد كاملة يمتـد كل منها على وجه التقريب 100 ألف سـنة، ويفصل بين كل عصر والآخـر ظروف أدفأ مثل تلك التي نعيشـها اليوم، والمسـماة فترات ما بين العصور الجليدية (Interglacial) وتمتد قرابة 10 آلاف سـنة. ووفق هذا الرأي فإن الفترة الراهنة الفاصلة بين عصرين جليديين سوف تنتهي على نحو طبيعي خلال ألفي عام - فترة أقل من عمر التاريخ المكتوب - بيد أن المستقبل موضوع يخرج بنا عن نطاق هذا الكتاب. وثمة أيضا موجات تغير في المناخ أقل درجة يضيفها إلى هذا النمط الرئيسـي بالجمع بينها وبين الإيقاعات التي بحثها ميلانكوفيتش. وجدير بالذكر أن عصور الجليد هذه جرى تحديد تواريخها بتقنية النشاط الإشـعاعي مسـتخدمين نظائر البوتاسـيوم والأرغـون. وتتعاقب عصور الجليـد هذه خلال فترة أكثر قليلا من 3.6 مليون سـنة. وكان أسـلافنا خلال هذه الفترة يعيشون في وادي الجرف العظيم (Great Valley drift) في شـرق أفريقيا (هو نفسه نتاج نشاط تكتوني للصفائح الأرضية)، حيث كان يعيـش هناك شـكل قديم من شـبيه الإنسـان الأول أو القردة العليا (Hominid)، والذي أدى إلى ظهور ثلاثة أشـكال حديثة هي الشـبمانزي والغوريـلا ونحن(*). إذ يزودنا سـجل تاريخ الأحفوريات بدليل على وجود شـبيه بالإنسان يمشـي منتصب القامة خلال هذا الوقت، ويتمثل الدليل في أمريـن: الأول آثار أقدام على أرض رخوة تجمدت، والثاني أحفوريات

(*) تحديد تاريخ انفصال السـلالة البشـرية عن القردة العليا الأفريقيـة الأخرى تم بناء على قياسات مباشرة للـ «دنا» (الحامض النووي) لكل منها، والذي يزودنا بنوع من «الساعة الجزيئية» (Molecular clock)، وتحدد هذا نهائيا في تسعينيات القرن العشرين، وفق ما قال جون غريبين وجيريمي شيرفاس في كتابهما «الشمبانزي الأول»، بنغوين، لندن، 2001م.

عظام. وعلى الرغم من أنه لا أحد يمكنه من دون مساعدة آلة الزمان أن يعرف عن يقين ما الذي حوَّل تحديدا شبيه الإنسان الشرق أفريقي منذ ثلاثة أو أربعة ملايين سنة إلى هومو سابينس (الإنسان العاقل)، فإنه في الإمكان تصور أن النبض الإيقاعي للمناخ له دور أساسي في ذلك، أو لنقل لا مناص من استنتاج أنه مسؤول ولو جزئيا على الأقل. ولم يكن المهم في شرق أفريقيا تقلبات درجة الحرارة على عكس أهميتها الكبرى في خطوط العرض العليا. وثمة واقع وهو أنه خلال حدوث عصر جليدي كامل تكون المحيطات شديدة البرودة بحيث ينعدم البخر ويقل المطر، ومن ثم تكون الأرض أكثر جفافا وتنحسر الغابات. وأدى هذا على الأرجح إلى زيادة المنافسة بين أشباه البشر سكان الغابات (بمن فيهم أسلافنا)، وأدت المنافسة إلى طرد البعض قسرا من الغابات إلى السهول، وحدث ضغط انتخابي كثيف على الأفراد. وتسنى البقاء لأقدرهم على التكيف مع أسلوب الحياة الجديدة. ولو أن الوضع استمر دون تغيير إلى ما لا نهاية فإنهم على الأرجح سيموتون وتقضي عليهم المنافسة مع سكان السهول الأفضل تكيفا. ولكن بعد مائة ألف سنة، أو نحو ذلك، خفت ضراوة الظروف وتوافرت لسلالات من بقوا على قيد الحياة خلال عملية الفرز عن طريق الانتخاب الطبيعي فرصة الاستفادة من الغابة التي اتسع نطاقها، وتناسلوا وعاشوا في أمان من وحوش السهول المفترسة وازدادت أعدادهم. وكم هو يسير بعد تكرار هذه العملية عشر أو عشرين مرة أن نشاهد ظاهرة الترس والسقاطة (ratcheting effect)، وكيف انتخبت على أساس الذكاء وقابلية التكيف باعتبار أنهما الشرطان الرئيسيان للبقاء على أطراف الغابة، لكن سلالات أشباه البشر الأكثر نجاحا عاشوا وسط الغابة وتكيفوا أكثر وأكثر مع الحياة وسط الأشجار، وأصبحوا الشمبانزي والغوريلا.

ربما تكون القصة مستساغة شأن فكرة الزحزحة القارية في أيام آرثر هولمز. ولكن حتى وإن كانت التفاصيل غير صحيحة، فإنه من العسير أن نرى التوافق الوثيق بين النمط المناخي الذي بدأ فيما بين ثلاثة أو أربعة ملايين من السنين وبين تطور البشر من قردة عليا تسكن الغابات، والذي بدأ أيضا منذ ما بين ثلاثة أو أربعة ملايين سنة، مجرد توافق عرضي.

نحن مدينون بوجودنا إلى الجمع بين الزحزحة القارية ونشوء ظروف نادرة مثاليـــة للدورات الفلكية، والتي أثرت في منـــاخ كوكب الأرض والإيقاعات الفلكية ذاتها. وتشـــتمل الحزمة على الفيزياء الأساســـيـــة (أســـاســـيـــة مثل فهم تيارات الحمل التي تســـبب الزحزحة القارية) والديناميات النيوتونية والجاذبية (التي تفسر الدورات الفلكية بحيث تكون قابلة للتنبؤ) والكيمياء (لتحليـــل عينات من قاع البحر) والمغناطيســـيـــة الكهربيـــة (لتحديد تاريخ المغناطيســـيـــة الأرضية) وفهم للأنواع وعالم الأحياء تأسيســـا على أعمال علماء مثل راي ولينايوس ونظرية التطور على أســـاس الانتخاب الطبيعي التـــي قال بها داروين - والاس. لقد وضعـــنـــا كلاهما ببصيرة نافذة داخل إطار يوضح كيف أن شكلا من أشكال الحياة على كوكب الأرض نشأ بداية بعملية الانتخاب الطبيعي ذاتها، والتي نشـــأت عنها جميع الأنواع الأخرى. وتمثل هذه الإنجازات انتصارا يتوج ثلاثة قرون هي عمر العلم «الكلاسيكي» الـــذي بدأ عهده بأعمال غاليليو غاليلي وإســـحق نيوتن. ولك أن تتأمل ما تلا ذلك. ولكن مع نهاية القرن العشـــريـن، نجد أن قدرا كبيرا من العلم لم يتبع المســـار نفسه إلى حد كبير، والذي سار فيه العلم الكلاسيكي، إذ غير من الســـبل التي ســـار فيها والتي كانت غريبة بالنسبة إلى الأسس نفسها التـــي قامت عليها نظرة نيوتـــن إلى العالم. وهذا هو ما بدأ مباشـــرة مع نهاية القرن التاسع عشر، مع استحداث نظرية الكوانتم التي غيرت تماما طريقة تفكير علماء الفيزياء في العالم على كل المستويات.

الكتاب الخامس

العصور الحديثة

13

الفضاء الداخلي

«قضيت عشرة أعوام من حياتي أجري تجارب لاختبار معادلة آينشتين للعام 1905، ولكنني، وعلى النقيض من كل توقعاتي، أجدني في العام 1915 مضطرا إلى أن أؤكد أنها حقيقة لا لبس فيها، على الرغم مما ألمسه فيها من لا معقولية»

روبرت ميليكان

اختراع الأنبوب المفرغ

بدأت أضخم ثورة في تاريخ العلم باختراع نوع أفضل من مضخة التفريغ في منتصف القرن التاسع عشر. وحتى نضع هذا التطور في منظور صحيح، إذ قد يبدو تافها بالقياس إلى التكنولوجيا الحديثة، يكفي أن نفكر في نوع المعدات التي كان يعمل بها ميشيل فاراداي عندما أراد أن يبحث سلوك الكهرباء في حالة انعدام الهواء. إذ في نهاية ثلاثينيات القرن التاسع عشر كان فاراداي يبحث آليات تفريغ الشحنة مستخدما كأسا زجاجية بها قطب كهربي (إلكترود) واحد ثابت. وأغلق بإحكام فتحة الكأس بغطاء من الفلين ينفذ منه دبوس معدني، وهو

الإلكتــرود الآخر، بدفعه بقــوة مع إمكانية تحريكه إلـــى الداخل والخارج فـــي مواضع مختلفة. ولم يكن كل الجهـــاز محكم الإغلاق ضد الهواء، مع إمكانية الإبقاء على الضغــط منخفضا فقط داخل الوعاء (ولم يكن حتى بهذه الحال أقرب إلى التفريغ) عن طريق الضخ المســتمر باستخدام جهاز يختلــف قليلا من حيث المبدأ عــن المضخات التي اســتخدمها أوتو فون غوريــك قبل ذلك بقرنـــين (والتي تطابق في جوهرهـــا مضخة الدراجة الحديثــة). ولكن الألمانـــي هينريش غيســلر (1814 - 1879) هو الذي أحدث اختراقا جديدا في بون في أواخر خمسينيات القرن التاسع عشر. أعد مضخة تفريغ محســـنة واســتخدم فيها الزئبق ليضمن غلقا محكما ضد الهواء، وســد بإحكام جميع الوصلات والســدادات التي لها دور في عملية تفريغ الهواء من الوعاء الزجاجي. وتم توصيل الوعاء المفرغ بأنبوب إلـــى أحد فرعي ســدادة ذات اتجاهين بحيث تربطها ببصلة هي نفســـها متصلـــة عن طريق أنبوب مرن بوعاء مملــوء بالزئبق. أما الفرع الآخر من الســـدادة ذات الاتجاهين فإنه يصل المصباح بالهواء الطلق. وعند اتصال البصلة بالهواء المفتوح يرتفع خزان الزئبق حيث ضغط الزئبق يطرد الهواء خارج البصلة. ثم يتم تحريك الســـدادة تجاه الفرع الآخر وينخفض خزان الزئبق، مما شـــجع على تدفق الهواء إلى خـــارج الوعاء الزجاجي ليدخل البصلة. إذا كررنا هذه العملية مرات كثيرة ســنصل إلى تفريغ شبه مطلق للوعاء الزجاجي. ولكن غيســلر الذي تدرب على عمل عامل نفخ الزجاج، فقــد وضــع تصميما لتقنية تثبيــت إلكترودين في وعـــاء زجاج مفرغ من الهـــواء، وبذا ابتكــر أنبوبا فيه تفريغ كامل دائـــم. واخترع الأنبوب المفرغ. وتحسنت التكنولوجيا على مدى السنوات والعقود التالية على أيدي غيسلر وغيره، حتى أصبح بالإمكان في منتصف خمســينيات القرن التاسع عشر صناعــة أنابيب مفرغة بحيث لا يزيد الضغــط داخلها على بضعة أجزاء من ألف من ضغط الهواء عند مســتوى ســطح البحر على اليابسة. وهذه هي التكنولوجيا التي قادتنا إلى اكتشـــاف الإلكترونات (الأشعة المهبطية/ الكاثود) وأشعة إكس، ومن ثم شجعت على العمل الذي أفضى إلى اكتشاف النشاط الإشعاعي.

الأشعة المهبطية والأشعة القنوية الموجبة

في ستينيات القرن التاسع عشر استطاع جوليوس بلوكار (1801 - 1868)، وهو أستاذ غير متميز في الفيزياء بجامعة بون، أن يكون من أوائل من توصلوا إلى فهم تكنولوجيا الأنبوب المفرغ الذي ابتكره غيسلر. وأجرى سلسلة من التجارب لبحث طبيعة الوهج الذي يشاهده في مثل هذه الأنابيب عندما يسري تيار كهربي بين الإلكترونات (وهذه في جوهرها تكنولوجيا أنبوب النيون)، وكان يوهان هيتورف (1824 - 1914)، أحد تلاميذ بلوكر، أحد من لحظوا لأول مرة انبعاث أشعة متوهجة من الكاثود (إلكترود سلبي) في مثل هذه الأنابيب ويتبع فيما يبدو مسارات مستقيمة. ونذكر هنا أيوجين غولدشتين (1850 - 1930)، الذي كان يعمل آنذاك مع هيرمان هلمهولتز في برلين، إذ هو الذي أطلق اسم «الأشعة المهبطية أو أشعة الكاثود على هذه المسارات المتوهجة في العام 1876. وبين أن هذه الأشعة يمكن أن تلقي ظلالا (مثل العديدين من معاصريه) وأنها تنحرف بفعل المجالات المغناطيسية، بيد أنه ظن أنها موجات كهرومغناطيسية مماثلة للضوء. وفي العام 1886، اكتشف غولدشتين شكلا آخر لـ «الأشعة» ينبعث من ثقوب في الأنودات (أقطاب الإلكترونات الموجبة) من صمامات التفريغ التي كان يستخدمها في ذلك الوقت، وأطلق عليها اسم «أشعة قنوية» المستمد من المصطلح الألماني لهذه الثقوب. ونعرف الآن أن هذه «الأشعة» هي مسارات لأيونات موجبة الشحنة، أي ذرات انتزع منها إلكترون أو أكثر.

وجدير بالذكر أنه منذ فترة باكرة تعود إلى العام 1871 أصدرت الجمعية الملكية ورقة بحث كتبها مهندس الكهرباء كروموبل فليتوود فارلي (1828 - 1883)، واقترح فيها أن الأشعة المهبطية «الكاثود» ربما تكون جسيمات مادة واهنة أطلقها القطب السلبي بفعل الكهرباء(*)، والتقط وليهلم كروكس (1832 - 1919) هذه الفكرة الخاصة بالتفكير الجسيمي للأشعة.

(*) محاضر جلسات الجمعية الملكية، المجلد 19، ص236، 1871.

وليهلم كروكس:

أنبوب كروكس والتفسير الجسيمي لأشعة المهبط «الإلكترود»

كروكس، من مواليد 17 يونيو 1832 في لندن، والأخ الأكبر لستة عشر طفلا من أب يعمل خياطا ورجل أعمال. عاش حياة علمية غير مألوفة، ونعرف القليل عن تعليمه في باكر حياته، ولكن مع نهاية أربعينيات القرن التاسع عشر عمل مساعدا لأوغست فون هوفمان بالكلية الملكية للكيمياء. وعمل في قسم الأرصاد الجوية في مرصد رادكليف في أكسفورد خلال العامين 1854 و1855، ثم محاضرا في الكيمياء لدى شسستر ترييننغ كوليج خلال العام الدراسي 1855 - 1856. ثم حدث أن ورث مالا كافيا عن أبيه يكفل له الاستقلال المالي، وعاد إلى لندن، حيث أنشأ معملا كيميائيا خاصا وأسس الصحيفة الأسبوعية كيميكال نيوز «أنباء الكيمياء»، التي أشرف على تحريرها حتى العام 1906. تعددت اهتمامات كروكس (بما في ذلك النزعة الروحية) غير أننا سوف نتناول فقط الجزء الخاص به في قصة اكتشاف الإلكترونات. اعتمد هذا على استحداثه أنبوبا مفرغا محسنا (يعرف باسم أنبوب كروكس) به تفريغ أفضل (وأقوى) من التي حاولها معاصروه في القارة الأوروبية. واستطاع كروكس بفضل التفريغ الأفضل أن يقدم برهانا حاسما بشأن الطبيعة الجسيمية للأشعة المهبطية «الكاثود». ويشتمل هذا على وضع صليب مالطا Maltese Cross المعدني داخل الأنبوب ليحصل على ظل محدد تماما للصليب في الوهج الناتج، حيث الأشعة اصطدمت بجدار الأنبوب الزجاجي خلفها. ووضع أيضا عجلة تجديف صغيرة وسط حزمة الأشعة، موضحا أنه ما إن يجعل تأثير الأشعة العجلة تدور حتى تكون قد حملت معها زخما. وبحلول العام 1879 بدأ يدافع عن التفسير الجسيمي لأشعة الكاثود، وسرعان ما أصبح هذا هو التفسير المعتمد لدى الأغلبية العظمى من علماء الفيزياء البريطانيين. ومع ذلك حدثت أمور مختلفة داخل القارة الأوروبية، خصوصا في ألمانيا، ذلك أنه في مطلع ثمانينيات القرن التاسع عشر أجرى هينريش هيرتز تجارب بدا أنها توضح أن المجال

الكهربي ليس له تأثير في الأشعة (نعرف الآن أن هذا حدث معه لأن الأنابيب المفرغة التي أجرى تجاربه عليها كانت تحتوي على كمية كبيرة من بقايا غاز تأينت وتداخلت مع الإلكترونات)، وتأكدت بشكل راسخ نتيجة لذلك فكرة أن الأشعة شكل من أشكال الموجة الكهرومغناطيسية. ولكن لم يتم حسم الموقف نهائيا إلا في تسعينيات القرن التاسع عشر، نظرا إلى أن علماء الفيزياء انشغلوا جزئيا نتيجة اكتشاف أشعة إكس (التي سنعرض لها بعد قليل).

بيان أن أشعة الكاثود تتحرك أبطأ من الضوء

وضح بالدليل في العام 1894 أن أشعة الكاثود لا يمكن أن تكون مجرد شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وذلك حين بين جي. جي. تومسون في إنجلترا أنها تتحرك بسرعة أبطأ كثيرا من سرعة الضوء (وحري أن نتذكر معادلات ماكسويل التي تقول إن كل أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي تتحرك بسرعة الضوء). وبحلول العام 1897 تزايدت باطراد قوة الدليل على أن أشعة الكاثود تحمل شحنة كهربية. وأجرى جين بيران في العام 1895 (الذي التقيناه في الفصل 10) تجارب أوضحت مع تجارب أخرى أن الأشعة تنحرف إلى أحد الجانبين بفعل المجال المغناطيسي عند وجود حزمة من الجسيمات المشحونة كهربيا، وبين كذلك أن أشعة الكاثود حين تصطدم بلوح معدني يصبح اللوح مشحونا بشحنة سلبية. وعكف في العام 1897 على تجارب بهدف اكتشاف خواص الجسيمات في هذه «الأشعة» عندما تبين سبق آخرين له في هذا الصدد - والتر كوفمان في ألمانيا، وكذلك وعلى نحو أكثر حسما تومسون في إنجلترا. كان كوفمان في برلين يدرس طريقة انحراف أشعة الكاثود بفعل المجال المغناطيسي والمجال الكهربي في الأنابيب المفرغة التي تحتوي على ضغوط غاز متبقية وعلى أنواع مختلفة من الغاز. واستطاع أن يستنتج من هذه التجارب نسبة شحنة الجسيمات إلى كتلتها e/m. وتوقع أن يكتشف قيما مختلفة لهذه النسبة بشأن الغازات المختلفة، ذلك لأنه تصور أنه يقيس خواص ما

نسميه نحن الآن أيونات، الذرات التي أضحت مشحونة بفعل الاتصال بالكاثود. ولكن ما أدهشه أنه حصل دائما على قيمة واحدة لنسبة شحنة الجسيم أو الإلكترون إلى الكتلة e/m. وقاس تومسون أيضا (الذي لا علاقة له بوليم تومسون الذي أصبح اسمه لورد كلفين) e/m مستخدما تقنية متقنة، حيث انحرفت حزمة من أشعة الكاثود بتأثير مجال مغناطيسي ثم انحرفت الناحية الأخرى المقابلة بتأثير مجال مغناطيسي، بحيث انتفى تماما التأثيران. ولكنه لم يدهش لاكتشاف أنه يحصل دائما على القيمة نفسها لهذا العدد، ذلك لأنه منذ البداية وهو يظن أنه يتعامل مع أشعة من جسيمات متطابقة تنبعث من الكاثود. وعبر عن نتيجته بأسلوب معكوس، أي m/e، وأوضح أن صغر العدد الذي حصل عليه، مقارنا بالنتيجة المكافئة للهيدروجين (الذي نسميه الآن أيونات الهيدروجين المكافئة لبروتونات وحيدة)، تعني إما أن كتلة الجسيم المعني صغيرة جدا، أو أن الشحنة كبيرة جدا، أو توليفة ما بين الأثرين. وألقى تومسون «محاضرة في المؤسسة الملكية يوم 30 أبريل 1897، وقال معقبا إن افتراض حالة للمادة مقسمة إلى ما هو أكثر من الذرة هو افتراض مذهل إلى حد ما»(*). وكتب في هذا بعد ذلك وقال: «أبلغني بعد ذلك بزمن طويل زميل متميز كان قد استمع للمحاضرة أنه تصور أنني تعمدت إغاظتهم»(**).

اكتشاف الإلكترون

على الرغم من كل هذا يعتبر العام 1897 في الأغلب الأعم عام «اكتشاف» الإلكترون. ولكن الاكتشاف الحقيقي حدث بعد عامين، أي في العام 1899، عندما نجح تومسون في قياس الشحنة الكهربية ذاتها مستخدما تقنية اشتملت على قطرات ماء دقيقة مشحونة كهربيا، وفحصها عن طريق استخدام مجالات كهربية. وأن قياس e على هذا النحو هو الذي مكنه من تحديد قيمة فعلية لـ m، وتبين أن الجسيمات التي تؤلف أشعة الكاثود تحتوي كل منها على جزأين

(*) أعيد طبع المحاضرة في براغ وبورتر Bragg and Porter.

(**) جي. جي. تومسون، «ذكريات وتأملات» Recollections and Reflection.

من ألف مـــن كتلة ذرة الهيدروجين، وأنها «جزء من كتلة الذرة تحررت وانفصلت عن الذرة الأصلية»(*). بعبارة أخرى ومهما بدا الاكتشـــاف مذهلا فإن الذرة ليســـت تحديدا غير قابلة للانقسام. ولكن من الذي ألقى بهذه القنبلة؟

تومســـون مولود في تشـــيتام هيل، قرب مانشستر في 18 ديسمبر العام 1856. وحمل اســـم التعميد جوزيـــف جون، ولكنه أصبح معروفا منذ ســـن البلـــوغ بالأحرف الأولى من اســـمه جي. جـــي. وعندما بلغ الرابعة عشـــرة من العمر شـــرع في دراسة الهندســـة في أوينز كوليج (السلف لجامعة مانشستر)، ولكن أباه بائع الكتب القديمة النادرة، توفي بعد عامين، ما أدى إلى معاناة الأســـرة مـــن ضائقة مالية اضطر معها وبســـببها إلى أن يتحول إلى دراسة مقرر دراسي في الفيزياء والكيمياء والرياضيات نظرا إلى حصوله على منحة دراســـية لدراســـتها. وانتقل إلى ترينتي كوليـــج، كيمبريدج (بناء على منحة دراســـية للمرة الثانية) في العام 1876، وتخرج في قســـم الرياضيات في العام 1880، وبقي هناك (باستثناء زيارات قصيرة لجامعة برينستون) بقية حياته العملية. واستمر تومسون في العمل منذ العام 1880 في معمل كافنديش؛ وخلف لـــورد ريلي كرئيس لمعمل كافنديش في العام 1884 (كانت الجامعة في حاجـــة إلى وليام تومســـون ولكنه فضل البقاء في غلاســـكو) وظل في منصبه هذا حتى العام 1919، عندما اســـتقال بعد أن أصبح أول عالم يشـــغل منصب رئيس جامعة ترينتي، وظل في منصبه هذا إلى أن وافته المنية في 30 أغســـطس 1940. وحصل على جائزة نوبل (عن إنجازاته في مجال الإلكترونات) في العام 1906 كما حصل على لقب فارس في العام 1908.

إن اختيار تومســـون، عالـــم الرياضيـــات، ليكون أســـتاذا للفيزياء التجريبية ورئيســـا لمعمـــل كافنديش يعتبر حدثـــا ملهما أو ضربة حظ ســـعيد. إنه يتمتع بقدرة خارقة على وضع تصميم للتجارب التي تكشف

(*) جي. جي. تومســـون، «المجلة الفلســـفية مجلد 48، ص 547، 1899. سرعان ما تم تطبيق اســـم «إلكترون» وفق ســـياقه الحديث عن جسيمات تومســـون، وقام بهذا عالم الفيزياء الألماني هندريك لورنتز.

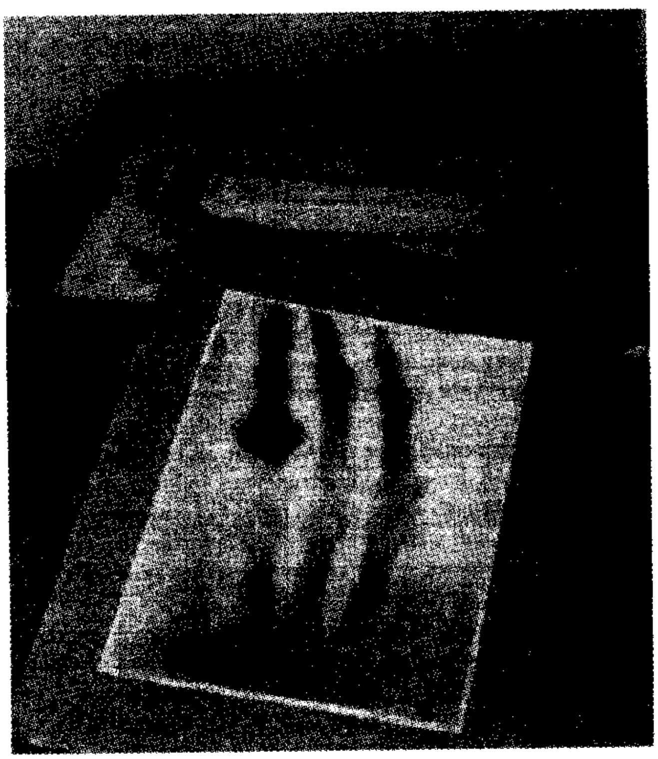
عن حقائق أساسية عن عالم الطبيعة (مثل تجربة قياس شحنة الإلكترون إلى نسبة الكتلة e/m)، ولديه إمكانية أيضا لاستخدام هذه القدرة لتوضيح لماذا التجارب التي وضع تصميمها الآخرون لم تحقق النتائج المرجوة منها - حتى وإن عجز الشخص صاحب التجربة عن تبيان الخطأ. ولكنه كان أخرق على نحو سيئ حين يتعلق الأمر بالتعامل مع معدات دقيقة، حتى قيل إن زملاءه حاولوا منعه من دخول المعامل التي يعملون فيها (ما لم يكونوا في حاجة إلى نظرة ثاقبة تكشف عن نقاط الضعف في تجربة مستعصية). ولنا أن نقول إن جي. جي. آخر التجريبيين النظريين. ويكفي للدلالة على قدرته وعلى الطريقة التي استهوى بها معمل كافنديش لكثيرين من أفضل علماء الفيزياء للعمل في كيمبريدج في نهاية القرن التاسع عشر ومطلع العشرين أن نعرف أن سبعة من علماء الفيزياء الذين عملوا مساعدين له حصلوا على جوائز نوبل. لقد قدم تومسون دورا مهما معلما ومرشدا ورئيسا للقسم، ما أدى إلى كل هذه النجاحات.

وعلى الرغم من أن معمل كافنديش احتكر سوق هذا النوع من النجاح من مثل اكتشافات أشعة إكس والنشاط الإشعاعي، فإن فريق تومسون هو الأسرع في استثمار التطبيقات العملية للاكتشافات، حتى وإن كان قد أنجزها آخرون في مكان آخر. وجدير بالذكر أن الاكتشافات العظمى في العلم يحققها عادة شباب يعملون في عجلة من أمرهم ورؤوسهم ملأى بأفكار رائعة واعدة. ولكن في نهاية القرن التاسع عشر، وبفضل تحسن تكنولوجيا الأنابيب المفرغة. كان العلم الذي عرفناه فيما بعد باسم الفيزياء الذرية لايزال علما حديثا فتيا، حيث فتحت التكنولوجيا سبيلا جديدة أمام العلم للبحث والاستكشاف. وفي ظل هذه الظروف، حيث الاكتشافات الواعدة تملأ الجنبات في انتظار من يحققها ويهبها الحياة، كانت الخبرة العملية والسبيل للوصول إلى التكنولوجيا الجديدة لهما ذات الأهمية الكبرى التي نوليها للفتوة الشابة والحماس. مثال ذلك أن ولهيلم رونتغن كان في ريعان الشباب حين حقق اكتشافه لأشعة إكس.

ويلهلم رونتغن واكتشاف أشعة إكس

ولد رونتغن في لينيب في ألمانيا يوم 27 مارس العام 1845، وسار في الطريق التقليدي المتبع للنظام التعليمي لكي يعمل أستاذا للفيزياء بجامعة ورزبورغ في العام 1888. تميز بأنه عالم جيد صلب قادر على العمل في مجـالات عديدة تخص مادته ولكن من دون أن يتـرك أي بصمة متميزة خاصة به. ولكن في نوفمبر 1895، وبينما رونتغن في الخمسين من العمر عكف على دراسة سلوك أشعة الكاثود مستخدما تصميما محسنا للأنبوب المفرغ (كانت التصميمات المختلفة معروفة بأسماء رواد التكنولوجيا، مثل أنابيـب هيتورف، وأنابيب كروكـس، وإن كانت جميعها تعتمد على مبادئ أساسية واحدة). وفي العام 1894، بين فيليب لينارد، معتمدا على أعمال أنجزها هيرتز، أن أشـعة الكاثود يمكن أن تسـري عبـر صفائح معدنية رقيقـة من دون أن تتـرك أي ثقوب. ورأى الباحثـون وقتذاك هذا دليلا على أن «الأشعة» بالضرورة موجات، نظرا إلى أن الجسيمات، حسبما هو مفترض، لا بد أن تترك دليلا على نفاذها (وطبيعي أنهم كانوا يفكرون في جسيمات حجمها على الأقل حجم الذرات). وتابع رونتغن هذا الاكتشاف، وكان فـي أثناء المتابعة يعمـل بأنبوب مفرغ مغطـى بالكامل بورق مقوى أسـود رقيق. واسـتهدف بذلك احتجاز وهج الضوء داخل الأنبوب، حتى يتسنى تسـجيل أي أثر مهما كان ضعيفا لأشعة الكاثود حال نفاذها عبر زجاج الأنبوب. والمعروف أن إحدى السبل المعتمدة لتسجيل أشعة الكاثود هي اسـتخدام شاشـة ورقية مدهونة ببلاتينوسـيانيد الباريوم Barium Platinocyanide، الذي يشع متألقا مثل الفلورسنت عند اصطدام الأشعة به. وفي 8 نوفمبر العام 1895، اسـتعمل رونتغن هذه الشاشـة التي لم يكـن لها أثر في تجربته، وتـرك الجهاز ملقى على أحد جانبيه بعيدا عن مسـار بريق أشعة الكاثود. وكم كانت دهشـته كبيرة إذ لحظ أن الشاشة تألقت بشعاع شديد السطوع عند تشغيل الأنبوب المفرغ في المعمل المعتم، وأجـرى بحوثا دقيقة وحذرة للتأكد من أنه اكتشـف ظاهرة جديدة، بعد ذلك قدم رونتغن ورقة بحث عن اكتشافه إلى Wurzburg Physikalisch-Medizinische Geselischaft يوم 28 ديسمبر وتم نشرها في يناير العام

1896. واطلق رونتغن على اكتشـــافه اسم أشـــعة إكس، والتي عرفت في العالم المتحدث بالألمانية باســـم أشـــعة رونتغن. وأثار الاكتشاف اهتماما كبيرا لأسباب كثيرة ليس أقلها قدرة الأشعة على النفاذ إلى داخل الجسد البشـــري وتقديم صـــور ضوئية للهيكل العظمي. وأرســـل رونتغن في أول يناير 1896 مســـودات ورقة البحث الخاصة بالاكتشـــاف متضمنة صورا بأشـــعة إكس ليد زوجته (مع أشياء أخرى)، وبدأت الصحف خلال أسبوع واحد تنشـــر التقارير عن الاكتشـــافات. وفي 13 يناير برهن رونتغن على واقعيـــة الظاهرة علـــى مرأى مـــن الإمبراطور ويلهلم الثانـــي في برلين، وظهرت الترجمات الإنجليزية لبحثه في مجلة نيتشـــر في 23 يناير (وهو اليوم نفسه الذي ألقى فيه رونتغن محاضرته العامة الوحيدة عن الموضوع في وورزبورغ. ونشرت البحث أيضا مجلة (ساينس) في 14 فبراير. ونشر رونتغن في مارس 1896، بحثين آخرين عن أشـــعة إكس، ولكن كان هذان البحثان آخر مساهماته في الموضوع، وإن ظل نشطا علميا وشغل منصب أســـتاذ الفيزياء في جامعة ميونخ فـــي العام 1900، وامتد به العمر حتى 10 فبرايـــر 1923، وحقق له إســـهامه العلمي العظيـــم حصوله على أول جائزة لنوبل للفيزياء في العام 1901.



35 – صورة بأشعة إكس ليد زوجة رونتغن، ويظهر فيها خاتم الزفاف 1895

ويمكـــن القول إن علماء الفيزياء كانـــوا يعرفون منذ البداية الكثير عن سلوك أشـــعة إكس، حتى وإن لم يعرفوا ماهية هذه الأشعة. كانت الأشعة تظهر حين تصطدم أشـــعة الكاثود بالجدار الزجاجي للأنبوب المفرغ (لذا لم يكن ثمة ســـر غامض بشـــأن مصدر الطاقة التي تحملها) وتنتشـــر من هذا المصدر في جميـــع الاتجاهات. وتنتقل مثلها مثل الضوء، في خطوط مستقيمة، وتؤثر في المواد التصويرية الضوئية «الفوتوغرافية»، ولا تنحرف بفعل المجالات المغناطيســـية أو الكهربية. ولكنها، وعلى خلاف الضوء، لم تكن تبدو في ظاهرها أنها تنعكس أو تنكســـر. ولم يكن واضحا على مدى ســـنوات مـــا إذا كانت موجات أم جســـيمات. بيد أن هذا لم يمنع أشـــعة إكس هذه من اســـتخدامها على نطاق واســـع على مدى عقد أو أكثر بعد اكتشـــافها، في مجـــال التطبيقات (على الرغم ممـــا يترتب عليها من آثار جانبية سيئة بسبب أخطار التعرض الكثيف لها الأمر الذي لا يقدره جيدا مستخدموها)، وفي الفيزياء حيث ثبت، كمثال، أنها مثالية لتأيين الغازات. ولكن فقط بعد العام 1910 أصبح واضحا أن أشعة إكس ما هي إلا شكل من أشكال موجة كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية أقصر من طول موجة الضوء المرئي (بل وأقصر من الضوء فوق البنفسجي)، وأنها بالفعل تنعكس وتنكســـر حال إنجاز أهداف ملائمـــة. ولكن فيما يتعلق بتطـــور الفيزياء الذرية، فإن أهم شـــيء يتعلق باكتشـــاف أشعة إكس هو أنها قادتنا وبشكل مباشر تقريبا إلى اكتشاف نوع آخر من الأشعة، نوع أكثر إلغازا.

النشاط الإشعاعي: بيكريل وآل كوري

لو كان هناك عالم احتل المكان الصحيح في الوقت الصحيح فإنه هنري بيكريل. جد هنري أنطوان بيكريل (1788 - 1878) كان رائدا في دراسة الظواهر الكهربائية وظواهر الإشعاع الضوئي، وحقق نجاحا كبيرا، حتى أنه في العام 1838 تم تدشـــين كرسي للفيزياء خاص به في المتحف الفرنسي للتاريخ الطبيعي. واعتاد ألكســـندر - أدمونـــد بيكريل (1820 - 1891)، الابن الثالث لأنطوان العمل بجوار أبيه في باريس، واهتم بسلوك الجوامد ذات الوميض الفوسفوري Phosphorescent Solids - وهي بلّورات تتوهج

فــي الظلام. وعندما مــات أنطوان في العــام 1878، خلفه أدموند (كما كان يعــرف عادة) في منصبه أســتاذا. واقتفى وقتذاك ابنه هنري بيكريل (1852 - 1908) منهج الأسرة التقليدية بالاهتمام بالفيزياء، وحصل على درجة الدكتوراه من كلية العلوم في باريس العام 1888. وبعد وفاة أدموند في العام 1891 أصبح هنري أســتاذا للفيزياء في المتحف، على الرغم من أنه كان يعمل أيضا مهندسا لدى إدارة الكباري والطرق في باريس، علاوة على منصبه. وبعــد وفاة هنري، خلفه بدوره ابنه جين (1878 - 1953)، الذي عمل أســتاذا هو الآخر؛ ولم يشــغل كرســي الفيزياء بالمتحف منذ إنشائه قبل 110 أعوام أي امرئ من خارج عائلة بيكريل، إلا بعد أن تقاعد جــين في العام 1948 ولم ينجب وريثــا يخلفه. وحدث في منتصف تاريخ الأسرة أن شارك هنري بيكريل في اجتماع الأكاديمية الفرنسية للعلوم يوم 20 يناير العام 1896، وسمع هناك تفاصيل الأنباء المثيرة عن أشعة إكس، بما في ذلك اكتشــاف أنها تنشــأ عن بقعة ساطعة على الجدار الزجاجي لأنبوب أشــعة الكاثود، حيث تصطدم أشعة الكاثود بالزجاج وتجعله يشع. وأثار في ذهنه هذا الحدث أن الأجسام الفوسفورية التي تتوهج أيضا في العتمة ربما تنتج عنها أشــعة إكس، واتجه على الفور لاختبار هذا الفرض مســتخدما أنواعا مختلفة من المواد الفوسفورية التي تراكمت في المتحف منذ أيام جده.

ووجد أن القسمة الأساسية المميزة لهذه المواد الفوسفورية هي ضرورة تعرضها لضوء الشمس لكي يجعلها تضوي وتتوهج. ويؤدي تعرضها لضوء الشمس، لأسباب غير معروفة، إلى شحنها بالطاقة بحيث تتوهج بعد ذلك في الظلام لفترة ثم تخبو مع استهلاكها لضوء الشمس. وعمد بيكريل أثناء بحثه في موضوع أشــعة إكس إلى لف لوحات تصوير ضوئي (فوتوغرافي) في صفحات ورقية ســميكة وســوداء بحيث لا ينفــذ إليها الضوء، ووضع اللوح الملفوف بالورق المعتم تحت طبق من الأملاح الفوسفورية التي شُحنت عــن طريــق تعرضها لضوء الشــمس. وطبيعي أنه بعــد أن أخرج الألواح الفوتوغرافيــة من لفافتهــا وبعد تحميضها وجد أن بعــض هذه الأملاح كشــفت عن إطار عام للمادة الفوســفورية - وإذا وضعنا جســما معدنيا

مثل عملة نقدية بين طبق الأملاح الفوسفورية والألواح الملفوفة، فإن هذه الألواح بعد معالجتها بالحامض «تحميضها» تكشف عن إطار الجسم المعدني. وبدا له أن أشعة إكس يمكن أن تكون نتاجا لتأثير ضوء الشمس في الأملاح، وأرسل هذه النتائج في حينها إلى المجتمع العلمي.

ولكن مع نهاية فبراير 1896 أعد بيكريل تجربة أخرى. وضع قطعة من النحاس الأحمر على هيئة صليب بين الألواح الفوتوغرافية الملفوفة وطبق الأملاح الفوسفورية (مركب من اليورانيوم) وانتظر إلى حين بزوغ الشمس. ظلت باريس ملبدة بالغيوم أياما عديدة، وفي أول مارس، وقد أرهقه طول الانتظار، قام بيكريل بتحميض اللوح على أي حال (غير واضح ما إذا كان ذلك نزوة أم قرارا عامدا بهدف إجراء تجربة ضابطة). وكم كانت دهشته عظيمة إذ وجد الإطار العام للصليب البرونزي. معنى هذا أنه حتى وإن لم تكن الأملاح الفوسفورية متوهجة، وعلى الرغم كذلك من أنه لم تُشحن بضوء الشمس، فإنها، على الأقل في حالة وجود مركبات اليورانيوم، أنتجت ما يبدو أنه أشعة إكس(*). ولكن الجانب الأكثر إثارة بالنسبة إلى هذا الاكتشاف هو أن الأملاح تنتج عنها طاقة، على نحو ما رأينا، ليست بفعل أي تأثير خارجي، وبدا هذا متناقضا مع واحد من أهم قوانين الفيزياء، ألا وهو قانون بقاء الطاقة.

لم يكن لهذا الاكتشاف التأثير الشعبي العام الذي حققه اكتشاف أشعة إكس ذلك لأنه بدا خارج دائرة الخبراء العلميين (بل وبالنسبة إلى كثير من العلماء) أشبه بصيغة أخرى لأشعة إكس. وسرعان ما اتجه بيكريل نفسه إلى عمل آخر، على الرغم من أنه قام ببعض الدراسات عن خواص الإشعاع الذي اكتشفه، وأوضح في العام 1899 أن هذا الإشعاع يمكن أن ينحرف بفعل المجال المغناطيسي، بما يعني أنه ليس أشعة إكس ولا بد أنه مؤلف من جسيمات مشحونة. ولكن البحث التفصيلي للظاهرة نهض به ماري وبيير كوري في باريس (اللذان اقتسم معهما بيكريل جائزة نوبل في العام 1903)، وأرنست راذرفورد (الذي سنتحدث عنه بتفصيل أكثر فيما يلي)، وبدأ عملهم أولا في معمل كافنديش.

(*) حقق هذا الاكتشاف نفسه بالدقة وفي الوقت نفسه تقريبا سيلفانوس تومبسون في إنجلترا، ولكن بيكريل هو الذي نشر اكتشافه أولا.

ونعرف أن اسم ماري كوري هو المرتبط بقوة في أذهان العامة بالبحث المبكر في مجال النشاط الإشعاعي (وهي التي سكت المصطلح). ويرجع هذا جزئيا إلى أن دورها كان مهما في الحقيقة، كما يرجع من ناحية أخرى إلى أنها امرأة، وقدمت بذلك نموذجا وقدوة للفتيات المعنيات بالعلم أحدثت بذلك أثرا طيبا وجيدا. ويرجع ثالثا إلى الظروف الصعبة التي عملت فيها، مما أضاف عنصرا رومانسيا إلى القصة. ويبدو أن هذا أيضا كان له تأثيره في لجنة جائزة نوبل التي عمدت إلى منحها الجائزة مرتين على العمل نفسه - في الفيزياء العام 1903، وفي الكيمياء العام 1911. ولدت ماري كوري في وارسو يوم السابع من نوفمبر العام 1867، وكان اسمها الأصلي ماري سكلودوفسكا، ولم يراودها أمل الالتحاق بالجامعة في المنطقة التي كانت وقتذاك جزءا روسيا من بولندا المقسمة، وصادفت مشقة كبيرة في سبيل تجميع المال اللازم للانتقال إلى باريس للدراسة في السوربون في العام 1891. وعانت وهي لاتزال طالبة قبل التخرج آثار الفاقة الشديدة والسكنى في غرفة في أعلى منزل. والتقت في السوربون بيير كوري (وتزوجا في العام 1895)، ابن الطبيب والمولود في 15 مايو 1859، وكان معتمدا خبيرا رفيع المستوى في خواص المواد المغناطيسية. وسرعان ما حملت كوري بعد الزواج، ولهذا لم يتسن لها أن تتفرغ لأعمال الدكتوراه إلا في سبتمبر 1897، وموضوعها أشعة اليورانيوم. وجدير بالذكر أنه حتى هذا التاريخ لم تكمل أي امرأة مشروع الحصول على درجة الدكتوراه في أي من جامعات أوروبا، وإن كانت إلزا نيومان في ألمانيا ستحصل عليها بعد هذا التاريخ مباشرة. باعتبارها عالمة أنثى رائدة، فقد كانت موضع حسد، وسمحوا لها باستخدام حظيرة بها تسريبات مياه لكي تكون مكان عملها - إذ كان محظورا عليها استخدام المعامل الرئيسية خشية أن يسبب وجودها إثارة جنسية، مما يعطل العمل البحثي.

حققت ماري أول اكتشاف عظيم لها في فبراير 1898 - إذ اكتشفت أن معدن البتشبلند Pitchblende (وهو الخام الذي نستخلص منه اليورانيوم) له نشاط إشعاعي أكثر من اليورانيوم، بما يعني أنه بالضرورة يحتوي على عنصر آخر له نشاط إشعاعي عال. وبدا الاكتشاف مثيرا

للغاية، حتى أن بيير نحى جانبا مشروعه البحثي الذي يعمل فيه وانضم إلى ماري في الجهد المبذول لعزل هذا العنصر غير المعروف لأحد قبل ذلك. وبعد جهد جهيد اكتشفا بالفعل عنصرين، أحدهما أطلقا عليه اسم «البولونيوم» Polonium (وفيه صراحة إلماعة سياسية تشير إلى وطنها الذي تذكره، وإن لم يكن له وجود رسمي)، واطلقا على الثاني اسم «الراديوم» Radium. واستمر العمل حتى مارس 1902 عندما تسنى لهما استخلاص عشر غرام من الراديوم من أطنان معدن البتشبلند، وهو ما يكفي لتحليله كيميائيا ووضعه في مكانه ضمن الجدول الدوري. وحصلت ماري على درجة الدكتوراه بعد عام من هذا التاريخ - وهو العام نفسه الذي حصلت فيه على جائزة نوبل الأولى. وجدير بالذكر أن بيير هو الذي قاس الناتج المذهل للطاقة من الراديوم - حيث إن كل غرام من الراديوم يكفي لتسخين غرام وثلث من الماء والانتقال من درجة التجمد إلى الغليان في ساعة. وبدا أن لا نهاية لهذا النشاط مع قدرة غرام واحد من الراديوم على التسخين المتكرر لغرام بعد غرام من الماء إلى درجة الغليان بهذه الطريقة - أي مقابل لا شيء، وهو ما يتنافى مع قانون بقاء الطاقة. وكان اكتشافا مهما بقدر أهمية اكتشاف الراديوم نفسه، وحقق الاكتشاف لفريق العمل شهرة واسعة. ولكن ما إن شرع آل كوري في الاستمتاع بحياة أكثر يسارا وراحة نتيجة نجاحاتهم حتى وقع حادث في 19 أبريل 1906 أردى بيير قتيلا، عندما زلت قدمه وهو يعبر الطريق في باريس وانسحقت جمجمته تحت عجلات حافلة يجرها حصان. ويبدو أن المرجح جدا أن الزلة حدثت نتيجة إصابته بنوبة دوار يسببها ما نسميه اليوم مرض الإشعاعات. وعاشت ماري حتى الرابع من يوليو 1934، عندما وافتها المنية بسبب مرض اللوكيميا (سرطان الدم) في إحدى العيادات في أوت - سافوي، وماتت هي أيضا ضحية مرض الإشعاعات. ولاتزال مذكراتها التي سجلتها في المعمل تفيض نشاطا إشعاعيا حتى اضطر المسؤولون إلى حفظها في خزانة مبطنة بالرصاص، ولا تُنقل إلا في مناسبات محددة، مع توفير كل الضمانات الضرورية التي تكفل الأمن والسلامة.

وتمثل اكتشـافات أشـعة إكس والإشـعاع الذري، بـل وأيضا تحديد الإلكتـرون، المرحلة الاستكشـافية الأولى فقط في تطـور فهمنا لعالم ما دون الذرة - أي اكتشـاف وجود عالم دون الذرة يتعين كشفه والبحث عنه. ويعتبر أرنست رذارفورد الشخص الذي حدد أكثر من أي إنسان آخر شكل العالـم دون الذري ووضع هذه الاكتشـافات فيما يشـبه نوعا من النظام والترتيـب، وحقق أول فهم لبنية الذرة. وراذرفورد من مواليد مجتمع ريفي في الجزيرة الجنوبية لنيوزيلاندا، ومولود يوم 30 أغسطس العام 1871. لـم تكن في نيوزيلاندا التي طالبت بها بريطانيا في مايو 1840، وقتذاك سـوى قليل من المجتمعات المحلية الريفية، وكان هدف بريطانيا الرئيسي من ذلك هو أن تسبق فرنسا في بناء مستعمرة لها هناك. ونعرف أن والدي راذرفـورد وفدا معا إلى نيوزيلاندا وهما لايزالان طفلين بصحبة والديهما (الأب إسـكوتلندي والأم إنجليزية) ضمن أول موجة للمسـتوطنين هناك؛ وتميل الأسـر الوافدة، كما هي عادة المجتمعات الرائدة، إلى تكوين أسـر كبيرة. وكان أرنست واحدا من بين اثني عشر شقيقا، ولد لهم أربعة أخوال من ناحية الأم، وثلاثة أعمام وثلاث عمات من ناحية الأب. ولد في كنيسة سبرنغ غروف قرب بلدة نيلسون، ولكن موقع ميلاده يعرف اليوم في دائرة برايت ووتر، وذلك بسـبب تغيرات في الحدود. انتقلت الأسرة إلى مسافة تبعد بضعة كيلو مترات، عن فوكسـهيل، وذلك عندما بلغ أرنست الخامسة والنصف من عمره.

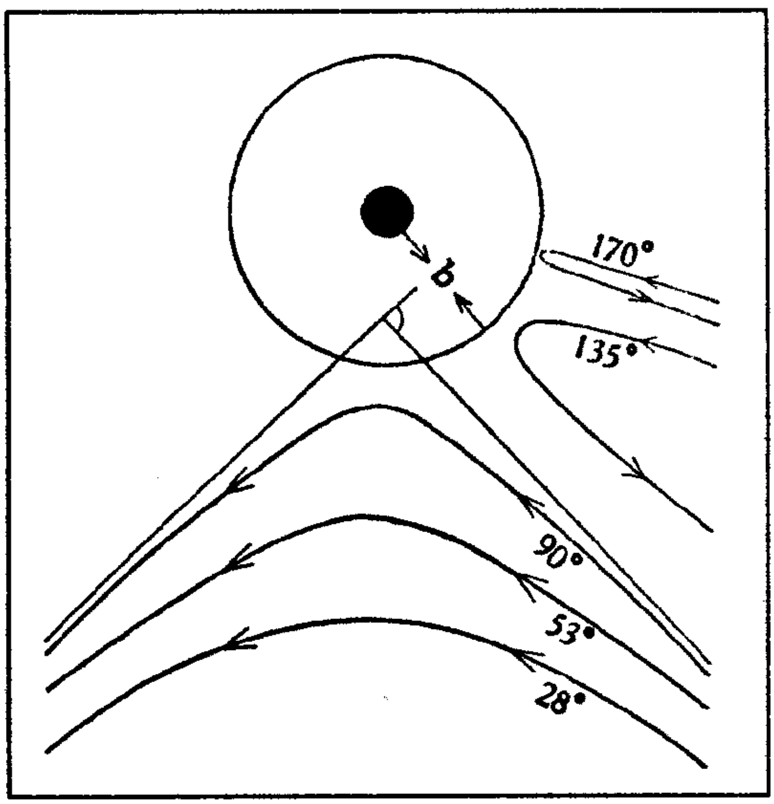
تميـز راذرفورد بالقدرة والكفاءة، وإن لم يكن تلميذا متميزا في طفولته. إذ بدا أنه قانع بأداء العمل حسـبما يجب دائما، ويجد ويجتهد في دراسـته لكي ينتقـل إلى المرحلة التالية في التعليم. وحصل بذلك على درجة البكالوريوس من كلية كانتربري في العام 1892 (واشـتمل المقرر الدراسـي على كل من الفنون والآداب والعلوم)، ثم حصل على درجة الماجستير التي اعتمدت على بحث أصيل في الكهرباء والمغناطيسية في العام 1893 (وكان في هذه السنة واحدا من بين أربعة عشـر خريجا فقط فـي نيوزيلاندا). وفي هذه الفترة بدأ يسـطع نجمه أكاديميا، ولكنه مع هذا كان من المسـتحيل عليه الحصول على وظيفة للتدريس (اختياره الأول) وقد قارب على استنفاد فرصه التعليمية في نيوزيلاندا. واستن

خطة لمواصلة دراساته في أوروبا بناء على منحة دراسية؛ ولكن كان عليه لكي يتقدم بطلب للحصول على هذا التمويل أن يكون طالبا مسجلا في الجامعة، لذلك قيد اسمه في العام 1894 ضمن مقرر دراسي مكثف لدرجة البكالوريوس، وأجرى مزيدا من البحوث بينما كان يعول نفسه بداية بإعطاء دروس خصوصية (وربما مع مساعدة مالية طفيفة من عائلته). وكان من حسن حظ راذرفورد أن مدرسا في ثانوية كرايست شيرش سقط مريضا في نوفمبر العام 1894، واستطاع راذرفورد أن ينهض ببعض واجباته الوظيفية.

كانت المنحة الدراسية التي سعى إليها راذرفورد جزءا من مخطط بريطاني موضوع العام 1851 بغية الاحتفال بالمعرض العظيم (*). وفرت المنحة تمويلا لمدة عامين (بمبلغ متواضع هو 150 إسترلينيا سنويا) للطلاب الباحثين من بريطانيا وأيرلندا وكندا وأستراليا ونيوزيلاندا للدراسة في أي مكان في العالم، بيد أن العدد كان محدودا للغاية ولم تكن المنحة متاحة لكل بلد كل عام. وكانت هناك منحة واحدة فقط لنيوزيلاندا في العام 1895، وتقدم لها اثنان من المرشحين، واتخذ بشأنهما القرار في لندن، على أساس الأطروحة التي يقدمها المرشح ويعرض فيها مشروعه البحثي. وذهبت الجائزة إلى جيمس ماكلورين، وهو باحث كيميائي من أوكلاند. ولكن ماكلورين كان يشغل وظيفة في أوكلاند وقد تزوج منذ فترة قريبة جدا. وحينما جاء وقت الحسم قرر أنه لن يستطيع قبول العرض. وهكذا تلقى راذرفورد الجائزة، والتحق في خريف العام 1895 بمعمل كافنديش كأول شخص يدخل جامعة كيمبريدج بصفة طالب باحث - إذ كانت السبيل الوحيدة في السابق لكي يصبح المرء عضوا في هذا المجتمع الاستثنائي هي أن يبدأ طالبا عاديا بالجامعة ثم يأخذ طريقه صاعدا. حدث هذا قبل شهرين فقط من اكتشاف رونتغن لأشعة إكس، وقبل سنتين من قياس تومسون e/m للإلكترون. لقد كان راذرفورد الرجل المناسب في المكان المناسب في الوقت المناسب، وهو شاب فتي متعجل؛ وهذه الصفات مجموعة سوف تجعل منه ناجحا بصورة تلفت الأنظار في العلم.

(*) Great Exhibiton: هو «المعرض العظيم لمنتجات الصناعة في دول العالم»، الذي أقيم في القصر البلّوري في الهايد بارك في لندن، وقد نظمه ورعاه الأمير ألبرت، وزج الملكة فكتوريا، والمخترع هنري كول (1808 - 1882) (المحررة).

وتضمن بحث راذرفورد المبكر في نيوزيلاندا الخواص المغناطيسية للحديد، وقد استعمل في فحصه موجات إشعاعية عالية الترددات (بعد ست سنوات فقط من اكتشاف هيرتز للموجات الإشعاعية). وأنشأ، كجزء من هذا العمل، مكشافا للكشف عن هذه الموجات - ويعتبر واحدا من أوائل أجهزة الاستقبال. واستمر بحثه في البداية على المنوال نفسه في كيمبريدج، حيث أجرى تجارب على انتقال بعيد المدى للأشعة (على مدى مسافات تصل إلى ميلين عمليا)، وحدث ذلك في الوقت الذي كان يجري فيه تقريبا غوليلمو ماركوني تجارب مماثلة في إيطاليا - ونجد من المستحيل الآن أن نقول من هو الذي أنجز أولا هذا المدى، على الرغم من مختلف المزاعم في هذا الصدد. وبينما كان راذرفورد معنيا بالجوانب العلمية لهذا البحث، وسرعان ما تحول إلى البحث المثير في مجال الفيزياء من دون الذرية، كان ماركوني قد توافرت لديه الإمكانات التجارية للتلغراف اللاسلكي، والتي شغلت فكره منذ البداية وحققت نتائجها التي يعرفها الجميع.



36 - رسم بياني نفذه راذرفورد يوضح فيه كيف أن جسيمات ألفا تتحرف عند مرورها قرب نواة ثقيلة. الرسم مأخوذ من بحث راذرفورد «الخيمياء الجديدة» 1937.

اكتشاف أشعة ألفا وبيتا وغاما

بحلول ربيع 1896، كان رازرفورد عاكفا على دراسة أشعة إكس تحت إشراف جي. جي. تومسون. تضمن عملهما المشترك بحث الطريقة التي تؤين بها أشعة إكس الغازات، توصلا إلى دليل قوي على أن الأشعة شكل من أشكال الضوء الأكثر نشاطا (أي، طول موجاتها أقصر)، وشكل من أشكال الموجات الكهرومغناطيسية التي تصفها معادلات ماكسويل (وهكذا، حين نلقي نظرة إلى الوراء نجد ربطا مع جهود رازرفورد في دراسة الموجات الكهرومغناطيسية في ما يختص بإطار طول الإشعاعات فيما يتجاوز نهاية طول الموجة الأطول في الطيف المرئي). سرعان ما انتقل إلى بحث الإشعاع الذي اكتشفه بيكريل، وتبين له أنه مؤلف من اثنين، أحدهما (وسماه إشعاع ألفا) وهو قصير المدى ويمكن إيقافه بقطعة ورق أو بضعة سنتيمترات من الهواء، والثاني (وسماه إشعاع بيتا) وهو أطول مدى بكثير وله قوة نفاذ أكبر. وبينما كان رازرفورد يعمل في كندا العام 1900، استطاع أن يحدد نمطا ثالثا من الأشعة سماه أشعة غاما(*). ونحن نعرف الآن أن أشعة ألفا هي تيارات من الجسيمات كلها واحدة مثل ذرة الهليوم التي ينقصها إلكترونان (وهو ما أكده رازرفورد في العام 1908) وأن أشعة بيتا تيارات من إلكترونات عالية الطاقة (أي سريعة الحركة) مثل أشعة الكاثود ولكن أكثر نشاطا؛ ثم أشعة جاما وهي شكل نشط من الإشعاع الكهرومغناطيسي ذات أطول موجية أقصر حتى من أشعة إكس.

جاء انتقال رازرفورد إلى كندا بشكل أساسي نتيجة لحدوث تغير مفاجئ في القواعد الخاصة بالطلاب الباحثين الجدد. ونعرف أن منحته الدراسية التي حصل عليها في العام 1851 تمنحه دعما لسنتين فقط، ولكن قواعد كيمبريدج تنص على أنه بغض النظر عن الاستحقاق والجدارة، يمكن فقط التقدم بطلب للزمالة بعد انقضاء أربع سنوات في الجامعة، وهو ما يمثل نكسة عن الوقت الذي كان يسمح فيه نظام كيمبريدج لطلاب الجامعة بالصعود. وعلى الرغم من أن رازرفورد حصل بالفعل على منحة دراسية أخرى لسنة إضافية، فإنه كان مضطرا إلى

(*) تم تحديد أشعة ألفا وبيتا في كيمبريدج، ولكن التقرير بشأنها صدر في ورقة بحث العام 1899، بعد أن سافر رازرفورد إلى كندا.

الرحيـــل في العام 1898 (وقد تغيرت قواعـــد الزمالة في العام التالي). ولحســـن الحظ أن شغر كرســـي في جامعة ماكغيل في مونتريال، وحصل رازدرفورد على الوظيفة. وشغل المنصب وهو في السابعة والعشرين، وعلى الرغـــم من أنـــه أجرى بحثا من الدرجـــة الأولى في كيمبريـــدج، فإنه لم يحصل على درجة الدكتوراه التي لم تكن وقتذاك شرطا جوهريا للحصول على عمل أكاديمي في العلم(*). وعمل في مونتريال مع فريدريك ســـودي الإنجليزي المولد (1877 - 1956)، وههنا فقط اكتشف رازدرفورد أنه في أثناء عملية إطلاق الأشعة التي اكتشفها بيكريل (المعروفة الآن بالانحلال الإشـــعاعي Radioactive decay) تتحول ذرة إلى ذرة من عنصر مختلف. إن جســـيمات ألفا أو بيتا حين تنبعث بفعل ذرة ما (تحديدا بفعل نواة ذرة ما، إذا ما سبقنا قليلا الواقع الزمني)، فإن ما يتخلف عن ذلك ذرة من نوع مختلف. وأفاد تعاون رازدرفورد - ســـودي أيضا في حل لغز ما يبدو مددا لا يفنى من الطاقة من مادة مشعة مثل الراديوم. إذ وجدا أن هذا التحول في الذرات يخضع لقاعدة واضحة، حيث نسبة معينة من الذرات موجودة أصلا في عينة ســـوف تنحل في زمن معين. وهذا هو ما يتم التعبير عنه بمصطلح «العمر النصفي» Half life، أي الزمن الضروري للانحلال. مثال ذلك أن القياســـات الدقيقة لمعدل نقص إشـــعاع الراديوم في المعمل تبين أنه في 1602 سنة انحلت نصف الذرات إلى ذرات غاز رادون مع انبعاث جســـيمات ألفا. وأنه في الـ 1602 ســـنة التالية، ســـينحل نصف الذرات المتبقية (ربع العينة الأصلية)، وهكذا على التوالي. معنى هذا أمران. أولا، أن الراديـــوم الموجود في الأرض اليوم لم يكن موجودا منذ تشـــكل كوكب الأرض، وإنمـــا لا بد أنه نتج بدرجـــة أو بأخرى بوضعه الحقيقي الأصلي (ونحن نعرف الآن ذلك من انحلال اليورانيوم المشع الأطول عمرا)؛ ثانيا، إن المـــدد من طاقة الراديـــوم وغيره من العناصر المشـــعة ليس أبدا غير قابل للنفاد. إن ســـخان ماء يعمل بطاقة الراديوم ســـوف يستنفد الطاقة القابلة للاســـتعمال. ويمثل الراديوم مســـتودعا للطاقـــة المحدودة (تماما

(*) الأمـــان الـــذي وفرته الوظيفة لرازدرفـــورد مكنته من الزواج بخطيبته، مـــاي نيوتن، العام 1900. إذ كانـــت تنتظره بصبر فـــارغ في نيوزيلاندا منذ العام 1895، ولـــم تكن تلتقي به إلا في أيام العطلات.

مثلما أن حقل نفط يعتبر مستودعا محدودا للطاقة) مما لا يعتبر انتهاكا لقانـــون بقاء الطاقة. ويعتبر راذرفورد هو الشـــخص الذي أوضح أن هذا المســـتودع للطاقة هو الذي أعطى لكوكب الأرض إمكانية عمر حياة امتد على الأقل مئات ملايين الســـنين، واســـتلهم في ذلك بشكل مباشر أعمال بيرترام بولتوود (الذي اســـتمع لخطاب راذرفورد عن النشاط الإشعاعي في جامعة ييـــل)، ومهد بذلك الطريق لأعمال آرثر هولمز، الذي أســـلفنا ذكره في الفصل 12.

وعلـــى الرغم من أن راذرفورد كان ناجحا وســـعيدا في كندا، فإنه كان مهمومـــا لانقطاعه عن التيار الرئيســـي للتطور البحثي فـــي الفيزياء في أوروبـــا. ونراه يرفض عرضا مريحا من جامعة ييل، ويعود إلى إنجلترا في العام 1907 ليعمل أستاذا للفيزياء في جامعة مانشستر، حيث تتوافر بنية أساســـية متميزة للبحـــوث. ومن العلامات الدالة على مدى ســـرعة تقدم الفيزياء وقتذاك هو أن فريق راذرفورد استطاع خلال عام واحد أن يبرهن على أن جســـيمات ألفا هي نفســـها ذرات الهليوم التي فقدت وحدتين من الشحنة الكهربية الســـالبة (لأننا نعرف الآن أنها فقدت إلكترونين). وبعد عـــام واحد من هذا، أي في العام 1909 أمكن اســـتخدام جســـيمات ألفا ذاتها المتولدة عن نشـــاط إشـــعاعي طبيعي لسبر بنية الذرة (*). ولعل هذا العمـــل هو أفضل ما نذكـــر به راذرفورد، على الرغم مـــن أن الذي أجرى التجارب فعليا (تحت إشراف وتوجيه راذرفورد) هو هانز غيغر (1882 - 1945) وطالب يدعى أرنست مارسدن (1889 - 1970). وليس مصادفة أن هذا هو هانز غيغر نفســـه الذي اســـتحدث مكشـــاف الإشعاع المسمى باســـمه، نظرا إلى أن هذه التجارب اعتمـــدت، بطبيعة الحال، على قدرة اكتشـــاف جسيمات ألفا في مواضع مختلفة بعد تفاعلها مع الذرات - في التجارب الكلاســـيكية التي أجراها غيغر ومارسدن حيث الذرات في ورقة ذهب رقيقة توجه إليها جسيمات ألفا.

(*) حصـــل راذرفورد علـــى جائزة نوبل في العام 1908، ولكن فـــي الكيمياء وليس الفيزياء. إذ كان علماء الكيمياء يرون النشاط الإشعاعي يدخل في مجالهم هم في تلك الأيام؛ ولكن الجائزة أثارت موجة من الفرح بين زملائه، نظرا إلى ما اشتهر عن راذرفورد من أنه يعتبر الكيمياء فرعا أدنى في العلم.

نموذج رازرفورد للذرة

قبل إجراء هذه التجارب، كان النموذج الأكثر شيوعا عن الذرة هو على الأرجح النموذج الذي استحدثه جي. جي. تومسون، ويبين هذا النموذج الذرة أشبه بثمرة البطيخ - كرة مكونة من مادة ذات شحنة إيجابية مطمور في داخلها إلكترونات ذات شحنات سلبية، مثل البذور داخل ثمرة البطيخ. ولكن عند إطلاق جسيمات ألفا ذات الشحنة الإيجابية على رقائق الورق الذهبي، اتجهت أغلبها مباشرة إليها ونفذت منها، بينما انحرف بعضها قليلا ناحية أحد الجانبين، وقفز قليل منها مرتدا أشبه بكرة التنس حين تصطدم بجدار من الآجر. ونظرا إلى أن جسيمات ألفا تحمل وحدتين من الشحنات الموجبة، فإن هذا يعني بالضرورة أنها أحيانا تتنافر عند اقترابها مباشرة من تركزات مادة ذات شحنة موجبة. ولكن رازرفورد هو الذي فسر هذه النتائج بأن أشار إلى أن الجزء الأكبر من كتلة وشحنة الذرة مركز في نواة مركزية دقيقة محاطة بسحابة من الإلكترونات. وأن أغلبية جسيمات ألفا لا تتماس أبدا مع النواة المركزية central nucleus (اسم سكّه في هذا السياق رازرفورد في العام 1912، بعد مرور عام من الإعلان الرسمي عن نتائج غيغر - مارسدن)، بل تتجه مباشرة في تماس خفيف في أثناء العبور بسحابة الإلكترون. ويعادل وزن الجسيم الواحد من جسيمات ألفا 8 آلاف مثل لجسيم الإلكترون الواحد، مما يقطع الأمل في انحراف جسيم ألفا. وإذا اقترب جسيم ألفا من نواة الذرة (التي تزن في حالة الذهب 49 مثلا من وزن جسيم ألفا)، فإنه يتدفق برفق إلى أحد الجانبين بتأثير الشحنة الموجبة. ويحدث في حالات نادرة فقط أن يتجه مباشرة إلى النواة، ثم يتنافر مرتدا إلى حيث أتى.

وكشفت تجارب تالية عن أن النواة تشغل فقط واحدا على مائة ألف من قطر الذرة، ونمطيا هي جزء من سحابة إلكترون 10-8 عرضا. النواة 10-13 سنتيمتر عرضا. أو بعبارة تقريبية للغاية، أن النسب هي ما يساوي حبة رمل بالنسبة إلى قاعة كارنيغي. والذرات في الأغلب الأعم فضاء فارغ مملوء بشبكة من القوى الكهرومغناطيسية تربط الشحنات الموجبة والسالبة بعضها ببعض. معنى هذا (وهو ما كان من شأنه أن

يدخل البهجة على نفس فاراداي) أن كل ما نتصوره مادة صلبة، بما في ذلك الكتاب الذي تقرأه، والكرسي الذي تجلس عليه، هو في الأغلب فضاء فارغ مملوء بشبكة من القوى الكهرومغناطيسية التي تربط شحنات موجبة وسالبة بعضها ببعض.

الانحلال الإشعاعي

لايزال ينتظر راذرفورد مستقبل متميز في عمله، ولكن لا شيء من إنجازاته يعادل أهمية نموذجه للذرة، والذي من شأنه أن يحقق يقينا حصوله للمرة الثانية على جائزة نوبل، ولكنها ستكون في الفيزياء هذه المرة. إذ عكف خلال الحرب العالمية الأولى على دراسة تقنيات خاصة باكتشاف الغواصات باستخدام الصوت (الإرهاصة المبشرة بما أصبح معروفا باسم أزديك وسونار Asdic and Sonar، أي جهاز الكشف عن الغواصات أو الألغام المطمورة والمسبار الصوتي). وفي العام 1919 خلف تومسون كأستاذ بمعمل كافنديش ورئيس المعمل. وواصل في العام نفسه إجراء التجارب في متابعة وتطوير لتجارب سابقة أجراها مارسدن، واكتشف في تجاربه هذه أن ذرات النيتروجين إذا ما قصفناها بوابل من جسيمات ألفا فإنها تتحول إلى شكل من الأكسجين، مع طرد نواة الهيدروجين (بروتون، وراذرفورد هو أيضا الذي سك هذا المصطلح الذي ظهر لأول مرة مطبوعا العام 1920). ويمثل هذا أول تحول اصطناعي لعنصر من العناصر. وبدا واضحا أن هذه العملية اشتملت على تغير حدث في نواة الذرة، وأصبح الحدث معلما مميزا دالا على بداية الفيزياء النووية. وأجرى راذرفورد بالاشتراك مع جيمس شادويك (1891 - 1974) تجارب فيما بين عامي 1920 - 1924 أوضحت أن الأغلبية العظمى من العناصر الأخف طردت البروتونات عند قصفها بوابل من جسيمات ألفا. ومنذ ذلك الوقت وحتى وفاته المبكرة (في 19 أكتوبر العام 1937، نتيجة تعقيدات بسبب حالة فتق مزمنة)، انحصر دوره أساسا في صورة القوة الموجهة إلى جيل جديد من علماء الفيزياء في معمل كافنديش؛ وحصل على لقب فارس في العام 1914، وأصبح

يعرف باســـم بارون راذرفورد أوف نيلسون في العام 1931، وذلك قبل عام واحد من اكتشـــاف شادويك (أو تحديده) للنيوترون ومن ثم اكتمال النموذج النووي للذرة.

وجود النظائر

فيما بين العامين 1912، عندما ســـك راذرفورد اســـم النواة، و1932، عندما حدد شـــادويك النيوترون، ناهيك عن اكتشاف أن نويات عنصر ما يمكـــن أن تتحول إلـــى نويات عنصر آخر، كان التطـــور الأهم الذي حدث في مجال فهم الذرة هو اكتشـــاف أن العناصر المفردة تظهر في تقسيمات متنوعة ومختلفة. وتحقق هذا الإنجاز على يدي فرنســـيس أستون (1877 - 1945)، الذي كان يعمل مع تومسون في معمل كافنديش في نهاية العقد الثاني من القرن العشرين. واقترح فردريك سودي، الذي كان يعمل وقتذاك بجامعة غلاســـكو، في العام 1911، أن بعض القســـمات المميزة للسلوك الكيميائي، والتي تبدو لنا لغزا محيرا، يمكن تفسيرها وفهمها إذا ما نظرنا إلى العناصر في صورة مجموعات متنوعة مختلفة لها خصائص كيميائية واحـــدة، ولكن لها أوزان ذرية مختلفة. وفـــي العام 1913، أطلق على هذه المجموعات اســـم «النظائر» (ويفسر وجود النظائر أمور أخرى كما أسلفنا من بينها بعض الترتيبات التي أدخلها مندلييف على الجدول الدوري). جاء البرهان على وجود النظائر من أعمال آســـتون التي تضمنت رصد الكيفية التي تنحرف بها الأشـــعة موجبة الشـــحنة في أنابيب التفريغ Discharge Tubes (هي فـــي الواقع أيونات، ذرات تم انتزاع بعض إلكتروناتها) بتأثير المجالات الكهربية والمغناطيســـية. كان هذا اســـتحداثا لتقنية استخدمها تومســـون لقياس e/m (شحنة الإلكترون بالنسبة إلى الكتلة) بالنسبة إلى الإلكترون إذ كان آســـتون يقيس e/m بالنســـبة إلى الأيونات، وحيث إن e معروفة، فإنه بذلك يقيس الكتلة. وبالنســـبة إلى الشـــحنة الكهربية ذاتها، فإن الجســـيمات التي تتحرك بســـرعة واحدة في المجال الكهربي الواحد ســـوف تنحرف جانبـــا بدرجة أقل مع كل متر تتحركـــه إلى الأمام إذا كان وزنها أثقل، وتنحرف بدرجة أكبر إذا كان وزنها أقل. وهذا هو أســـاس ما

نعرفه باســـم مرسمة طيف الكتلة (سبيكتروغراف Mass spectrograph) التي استخدمها آســتون لبيان أن العناصر، من مثل الأكسجين، تظهر في مجموعـــات متنوعة مختلفة مع ذرات ذات كتـــلات مختلفة. مثال ذلك أن ذرة الأكسجين الأكثر شيوعا، كتلتها 16 مثلا لكتلة ذرة الهيدروجين، ولكن ذرات الأكسجين التي تكونت عندما قصف راذرفورد النيتروجين بجسيمات ألفـــا كانت كتلة كل منهـــا 16 مثلا لذرة الهيدروجين. أصبح الســـبب في ذلك واضحا فقط بعد أن أنجز شـــادويك إنجازاته فـــي ثلاثينيات القرن العشـــرين. ولقد كان هذا الإنجاز وحده كافيا في حد ذاته لحصول آستون علـــى جائزة نوبل في الكيمياء العام 1922 (وحصل ســـودي على الجائزة نفسها في العام 1921). وسبق أن ذكرنا أنه في العام 1900 واجهت فكرة أن الذرات حقيقة واقعة، كيانات فيزيائية، واجهت معارضة كبيرة. وســـاد هذا الاعتقاد خلال العقد الأول من القرن العشرين على الرغم من الدليل الواضح الذي لا يدانيه شك، والذي قدمه آينشتين يدعم به واقعية الذرات اســـتنادا إلى نتائج إحصائية تضمنت أعدادا ضخمة من هذه الجسيمات. ولكن بحلول العام 1920 أصبح مألوفا كقاعدة إجراء تجارب تشتمل فقط على عدد قليل من الذرات (تقرب كثيرا من كونها ذرات مفردة).

اكتشاف النيوترون

الإنجاز الذي حصل شـــادويك بفضله على جائزة نوبل (في الفيزياء العام 1935) حققـــه في العام 1932 مقتفيا خطى اكتشـــافات قـــام بها والتر بوث (1891 - 1957) فـــي ألمانيا وجوليو - كـــوري، فريدريك (1900 - 1958)، وإيرين (1897 - 1957)، في فرنســـا(*). اكتشـــف بوث في العام 1930 أن البرليوم إذا تعرض لجســـيمات ألفا ينتج شـــكلا جديدا من الأشعة التي حاول تفسيرها في ضوء أشعة غاما. ومضى جوليو - كوري بالأمور إلى مرحلة أبعد. وأفادا في يناير العام 1932 أنهما اكتشفا أنه عند قصف البرليوم بجسيمات ألفا انبعث شـــكل ما من الأشعة غير المشحونة التي صعب رصدها من الذرات المســـتهدفة (مـــن النويات فعليا كما أدركا ذلك). وتســـببت هذه الإشـــعاعات

(*) إيرين هي ابنة بيير وماري كوري؛ وحينما تزوجها زميلها عالم الفيزياء فريدريك جوليو العام 1926 حمل الاثنان اسم جوليو- كوري.

بدورها في بروتونات أمكن رصدها بسهولة، وتنطلق من البارافين (من نويات الذرات في البارافين). وظنا كذلك أن هذا النشاط الإشعاعي الاصطناعي الذي استحث في البرليوم هو شكل مكثف من إشعاع غاما، ولكن شادويك أدرك أن ما يحدث حقيقة هو أن إشعاع ألفا يضرب بقوة جسيمات محايدة، ويخرجها من نويات البرليوم، وأن هذه الجسيمات المحايدة تضرب بدورها بقوة البروتونات (نويات الهيدروجين) وتدفعها إلى خارج البارافين الذي يحتوي على كم من ذرات الهيدروجين. وأجرى شادويك مزيدا من التجارب مستخدما البورون هدفا، وأكد في ضوء تجاربه هذه وجود هذا الجسيم المحايد، وقاس كتلته التي هي أكبر بدرجة طفيفة من كتلة البروتون.

وينطوي الأمر على مفارقة طفيفة تتمثل في أن أعظم إنجازات شادويك حققه خلال أيام محمومة بالنشاط في فبراير 1932، وأن الذي أثاره في ذلك إعلان من باريس. إذ على مدى عشرينيات القرن العشرين ظل فريق كافنديش وشادويك بخاصة عاكفين، ولو بشكل متقطع، على البحث عن كيان محايد مؤلف من بروتون وإلكترون متلاحمين بقوة أحدهما بالآخر، والذي بدا لهما إنه ضروري لتفسير كيف يمكن أن توجد جسيمات ألفا (التي كان الظن وقتها أنها مؤلفة من أربعة بروتونات متلاحمة مع إلكترونين) والنويات بعامة. واستخدم رادرفورد مصطلح «نيوترون» للإشارة إلى مثل هذه الحالة من التلاحم بين بروتون وإلكترون، ورأى ذلك على الأرجح في مطلع العام 1920، وإن ظهر المصطلح مطبوعا في هذا السياق فقط في العام 1921(*). ويفسر لنا هذا لماذا استطاع شادويك الانتقال في سلاسة إلى ما نعرفه الآن بأنه الاستنتاج الصحيح حينما وصلت الأنباء إلى باريس، وهكذا مع اكتشاف النيوترون تحددت جميع مكونات الذرة التي تعلمناها في المدارس أي فقط قبل سبعين سنة من نشر الكتاب الذي بين يدي القارئ. بيد أننا لكي نفهم كيف تراكبت وتجمعت أجزاء الذرة معا، وأن نفهم بخاصة لماذا الإلكترون سلبي الشحنة لم يسقط على النواة موجبة الشحنة، يتعين علينا العودة مرة أخرى إلى نهاية القرن التاسع عشر، حيث لغز آخر محير عن طبيعة الضوء.

(*) ظهرت اقتراحات عديدة بهذا الاسم تحديدا قبل هذا التاريخ مرات مختلفة للدلالة على جسيمات محايدة افتراضية، ولكن هذه أول إشارة إلى النيوترون الذي نعرفه الآن.

يتعلق هذا اللغز بطبيعة الإشــعاع الكهرومغناطيسي الصادر عن مشع كامل Perfect radiates، أي عن جسم أسود black body. إن الجسم الأسود الكامل هو جســم يمتص كل الإشعاع الساقط عليه، وعندما يسخن يصدر عنه إشعاع بطريقة مستقلة تماما عن المادة المصنوع منها هذا الجسم، وإنما الإشعاع رهن درجة الحرارة فقط. وإذا كان معك وعاء مختوم به ثقب صغير فإن الثقب يقوم بدور جسم أسود؛ ومن ثم فعند تسخين الوعاء، يثب الإشعاع في كل مكان داخله ويمتزج ببعضه تماما قبل نفاذه من الثقب في صورة إشــعاع الجســم الأسود. وجد علماء الفيزياء في هذا أداة يدرســون بها مثل هذا الإشــعاع الذي أعطوه اســما آخر «إشــعاع فجوي» Cavity radiation. ولكن ثمة أجساما أخرى مثل كتلة الحديد ســيكون سلوكها مثل الجســم الأسود عند تسخينها، إذ تشع عنها طاقة. وقدم روبرت كيرشــوف (1824 - 1887) في أواخر خمسينيات القرن التاسع عشر وصفا لإشعاع الجسم الأسود بهذه الطريقة، ولكن ثبت على مدى العقــود التالية، وعلــى الرغم من محاولات باحثين كثيرين، اســتحالة التوصل إلى نموذج رياضي يصف بدقة طيف الإشــعاع الصادر عن جسم أسود، والذي كشفت عنه التجارب. وإذا كان من غير المستصوب الدخول في تفصيلات هنا، فإننا نكتفي بالقول بأن القســمات المميزة والرئيســية لطيف الجســم الأسود المشار إليه هو أن لها ذروة لمدى معين من الأطوال الموجية حيث إن التي طاقتها أقل تشــع الأطوال الموجيــة الأطول والأقصر، كما أن موضــع هذه الذروة في الطيف الكهرومغناطيســي ينتقل إلى الأطوال الموجية الأقصر كلما زادت درجة حرارة الجسم الأسود. لهذا تجد على سبيل المثال كتلة حديد ساخنة إلى درجة الإحمــرار أبرد من كتلة متوهجة ذات لون أصفر، وذلك لأن الحديد يشــع مثل الجسم الأسود إلى حد ما. وهذه العلاقة بين اللون ودرجة الحرارة ذات أهمية حيوية في علم الفلك، حيث المألوف قياس درجات حرارة النجوم.

ماكس بلانك وثابت بلانك

إشعاع الصندوق الأسود ووجود كوانتا الطاقة

ماكس بلانك هو واحد مــن علماء الفيزياء الذين ناضلوا من أجل اكتشاف نموذج رياضي لإشعاع الصندوق الأسود. وشغل ماكس بلانك

(1858 - 1947) منصب أستاذ الفيزياء النظرية بجامعة برلين في العام 1892. ونعرف أن خلفيته الدراسية الأساسية هي الديناميكا الحرارية، وحاول منذ العام 1895 وما بعده اكتشاف طريقة لاشتقاق قانون إشعاع الصندوق الأسود تأسيسا على أنتروبيا Entropy مجموعة من مولدات الذبذبات الكهرومغناطيسية (لنتذكر أنه لم يكن قد تم التعرف على الإلكترون وقتذاك، ومن ثم كان بلانك ومعاصروه يعملون في الظلام، إذ لا يعرفون ماهية هذه المولدات للذبذبات). ومر نموذج بلانك بعمليات صقل ناجحة على التوالي خلال محاولته الوصول إلى مطابقة كاملة بين النظرية والتجربة. ونجح في نهاية الأمر، ولكن على حساب تضمين نموذجه ما سماه «عناصر الطاقة» energy elements، في مماثلة لما يسمى العناصر الكيميائية. وقسم في هذا النموذج كل طاقة هذه المولدات للذبذبات في الجسم الأسود إلى عدد محدد (ولكنه ضخم جدا) من الأجزاء المتساوية (ولكنها صغيرة!) والمعروفة بثابت الطبيعة constant of nature، اتخذ لها رمزا هو h. وأصبح هذا معروفا باسم ثابت بلانك Blank Constat. وأعلن بلانك عن صيغته لنموذجه في اجتماع أكاديمية برلين للعلوم يوم 14 ديسمبر في العام 1900. ونظرا إلى تطابق التقويم السنوي من ناحية فقد عُرضت هذه الفكرة «الثورية» مع مطلع القرن العشرين، واعتبر هذا التاريخ غالبا بداية الثورة الكوانتية في الفيزياء. ولكن لا بلانك نفسه ولا زملاؤه الذين استمعوا إلى العرض الذي قدمه فكروا في الأمر على هذا النحو. أنهم لم ينظروا إلى كوانتا الطاقة هذه على أنها حقيقة واقعة بل باعتبارها قسمة وقتية للرياضيات والتي ستختفي حال استحداث نموذج أفضل. وأيا كان الأمر فإن نموذج بلانك قد طرأت عليه تغيرات كثيرة؛ إذ لماذا لا يخضع لعملية صقل مستمرة؟ ولم يصدر وقتذاك عن بلانك أو عن أي شخص آخر أي اقتراح يفيد بأن فكرة كوانتا الطاقة تمثل حقيقة فيزيائية واقعة. وأن ثورة الكوانتا الحقيقية بدأت بعد خمس سنوات عندما شارك في أول مساهمة مثيرة في الحوار.

ألبرت آينشتين وكوانتا الضوء

من بين كل أوراق البحث التي نشـرها آينشـتين في العام 1905، نجد أن البحث الذي أفرده هو شـخصيا باعتبـاره «ثوريا جدا» (*) هو البحث الذي يتنـاول كوانتا الضوء (لم يكن وحده في إصـدار هذا الحكم، نظرا إلى أنه العمل الذي نال عليه جائزة نوبل). استخدم آينشتين نهجا مختلفا فـي الديناميكا الحرارية عن نهج بلانك، ومعتمدا على النظرة الاحتمالية للأنتروبيا، واكتشـف أن الإشعاع الكهرومغناطيسـي يسلك وكأنه «مؤلف من كوانتا طاقة تبادلية الاسـتقلال(**)». وانتهى في حساباته إلى أن مولد الذبذبة (أي الذرة) عندما يصدر أو يمتص إشعاعا كهرومغناطيسيا، فإنه يفعل ذلك في شـكل وحدات منفصلة، والتي تمثل مضاعفات hv، حيث v هي تردد الإشـعاع المنبعث أو الممتص (التردد جوهريا هو معكوس الطول الموجي). وناقش آينشتين في هذا البحث القصير نفسه كيف يمكن للإشعاع الكهرومغناطيسـي أن يصدم بقوة الإلكترونات ويخرجها عن سطح قطعة معـدن - التأثير الكهروضوئـي Photoelectric effect. وفي العام 1902 اقتفى فيليب لينارد أثر الدراسـات السـابقة عن التأثيـر الكهروضوئي، واكتشـف أنه عندما يسـطع ضوء ذو طول موجي محـدد (لون) على مثل هذا السـطح، فإن الإلكترونات المنبعثة لها الطاقة نفسـها، ولكن الطاقة تختلـف باختلاف الأطـوال الموجية للضوء. وليس مهمـا أن يكون مصدر الضوء شديد السطوع أم باهتا - إذ إنك تحصل على مزيد من الإلكترونات المنبعثة حين يكون الضوء أشـد سطوعا، ولكن كلا منها له الطاقة نفسها. ويمكن تفسير ذلك في ضوء نموذج آينشتين، على أن ضوءا ذا طول موجي محدد (تردد) مؤلف من تيار من الكوانتا الضوئية المفردة، فإن كلا منها له الطاقة نفسـها hv. إن كلا منها يمكن أن تصدر عنها كمية الطاقة نفسها لتصـل إلى إلكترون في المعدن، ولهذا السـبب تكون للإلكترونات المنطلقة نفس الطاقة. ومع ذلك لم يتسـن تفسـير الظاهرة التي اكتشـفها لينارد على الإطلاق تأسيسـا على النموذج الموجي للضوء. ونعرف أن آينشـتين أكـد الطبيعة التقريبية لأفكاره (حتى أن عنـوان ورقة البحث كان «وجهة

(*) في رسالة إلى صديقه كونراد هابخت. انظر جون ستاشل، «عام آينشتين الخارق».

(**) انظر جون ستاشل، «عام آينشتين الخارق».

نظر مساعدة فيما يتعلق بتولد وتحول الضوء»)، ولكنه على الرغم من ذلك، وعلى خلاف موقف بلانك، كان مقتنعا في أعماقه أن كوانتا الضوء (وكانوا قد أطلقوا عليها في العام 1926 اسم «الفوتونات» Photon، وهو الاسم الذي أطلقه عالم الكيمياء الأمريكي غيلبرت لويس) حقيقة واقعة. كان يقبل تماما بأن هذه الفكرة فكرة ثورية حقا، وعبر عن هذا بقوله:

> وفق الفرض الوارد هنا، فإنه فيما يتعلق بانتشار شعاع ضوء منبعث من مصدر محدد، لا تتوزع الطاقة بشكل مستمر وفق أحجام متزايدة باطراد من الفضاء، بل تتألف من عدد محدود من كوانتا الضوء المتموضعة في نقاط الفضاء، والتي تتحرك من دون انقسام ويمكن امتصاصها أو توليدها كوحدات كاملة فقط.

تمثل هذه الجملة البداية الحقيقية لثورة الكوانتا، أن الضوء، اعتمادا على التجارب المستخدمة، يمكن أن نراه يسلك إما كموجة (تجربة الشق المزدوج) أو كتيار من الجسيمات (التأثير الكهروضوئي). كيف يكون ذلك؟

كان معاصرو آينشتين يدركون جيدا الدلالات الثورية لاقتراحه، بيد أنهم لم يكونوا مقتنعين على الإطلاق. إن شخصا ما على وجه التحديد استثاره ما اعتبره حديث هراء وكان في وضع يسمح له بأن يتخذ إجراء ما بشأنه. وأعني به روبرت ميليكان (1868 - 1953)، عالم الفيزياء الأمريكي بجامعة شيكاغو. لم يقبل أبدا فكرة أن كوانتا الضوء حقيقة واقعة، وانبرى للبرهنة على خطأ تفسير آينشتين للتأثير الكهروضوئي. وأجرى سلسلة طويلة من التجارب نجح فقط بعدها في البرهنة على أن آينشتين على صواب، واستطاع في أثناء تجاربه أن يستمد قياسا دقيقا للغاية لثابت بلانك وتقديره $6.57x10^{-27}$. إن هذا الإثبات التجريبي لفرض آينشتين، والذي يعتبر من أفضل ميراث العلم (إذ إنها تجارب مثيرة للاهتمام جدا، ويكفي أنها حصاد محاولات استهدفت البرهنة على خطأ الفكرة) أكد بوضوح منذ نحو 1915 أن فكرة كوانتا الضوء تحتوي على شيء ما. وجدير بالذكر أن ميليكان قرب ختام حياته علق على ذلك بأسى وحزن إذ قال: «قضيت عشرة أعوام من حياتي أجري تجارب لاختبار

معادلة آينشتين للعام 1905، ولكنني، وعلى النقيض من كل توقعاتي، أجدني في العام 1915 مضطرا إلى أن أؤكد أنها حقيقة لا لبس فيها، على الرغم مما ألمسه فيها من لا معقولية» (*). وتمثل عزاء ميليكان في حصوله على جائزة نوبل في الفيزياء العام 1923، مكافأة على هذا العمل، فضلا عن القياس الدقيق المميز لشحنة الإلكترون؛ وليس من قبيل التوافق العرضي أن آينشتين حصل على جائزة نوبل العام 1927 (وإن كانت عمليا هي جائزة العام 1921، ولكنها أرجئت عاما). ومنذ ذلك التاريخ أكدت فكرة الكوانتا أحقيتها في تفسير سلوك الإلكترونات في الذرات، على الرغم من عدم توافر فهم كامل وتام لظاهرة الكوانتا.

والمشكلة بالنسبة إلى نموذج راذرفورد عن الذرة، باعتبارها نواة مركزية دقيقة تحيط بها سحابة من الإلكترونات المتحركة في فضاء فارغ، هي أنه لا يوجد شيء يحول دون سقوط الإلكترونات في النواة. ونعرف أن النواة موجبة الشحنة بينما الإلكترونات سالبة الشحنة، بما يعني أن لا بد وأن يتجاذبا. وعند البحث عن الكيفية التي تحقق الثبات والاستقرار لمثل هذه المنظومة يمكن أن نناظرها بالكواكب في أفلاكها حول الشمس - ولكن للأسف فإن هذه المناظرة لا تثبت على قدمين. يقينا إن الكواكب منجذبة إلى الشمس بفعل الجاذبية؛ وتميل إلى السقوط تجاهها، ولكنها باقية في مداراتها بفعل الحركة، بمعنى أنها توازن قوة الطرد المركزية بقوة جذب الجاذبية. ولكن الإلكترونات لا يمكنها الدوران في مدار حول نواة الذرة بالطريقة نفسها، لأن بها شحنة كهربية، وكأن عليها أن تغير اتجاهها لتتحرك في مدار حول النواة، ولكي تفعل ذلك يجب أن تتسارع - مثل القمر في مداره حول الأرض، والتسارع يعني تغيرا في سرعة أو في اتجاه الحركة، أو في كليهما. ونعرف أن الشحنة الكهربية حين تتسارع تشع طاقة تنطلق منها في صورة موجات كهرومغناطيسية، وإذ تفقد طاقة بهذه الطريقة فإن الإلكترون «في مدار» حول نواة سيأخذ مسارا لولبيا متسارعا إلى داخل النواة، وتنهار النواة في فترة زمنية تصل إلى نحو عشرة أجزاء

(*) انظر «مراجعات الفيزياء الحديثة»، المجلد 21، ص 343، 1949 Reviews of Modern Phyeics,vol. xxi, pp. 343, 1949.

من مليار جزء من الثانية(*). ولا سبيل إلى الخلاص من هذا المأزق في إطار الفيزياء الكلاسيكية عند نيوتن أو ماكسويل. إن السبب في أن الذرات مستقرة هو فقط بفضل فيزياء الكوانتا. وأول من عرف كيف يحدث هذا هو دين نيلز بور.

نيلز بور

وأول نموذج كوانتي للذرة

ولد بور في كوبنهاغن يوم السابع من أكتوبر العام 1885. وهو سليل أسرة أكاديمية (كان أبوه أستاذا لعلم وظائف الأعضاء (الفسيولوجيا) بجامعة كوبنهاغن، وهيرالد، أخو نيلز، عمل أستاذا للرياضيات بالجامعة نفسها) وتلقى تعليما علميا جيدا بلغ ذروته مع حصوله على درجة الدكتوراه في الفيزياء من جامعة كوبنهاغن في العام 1911 (توفي أبوه قبل ذلك بشهور إثر نوبة قلبية). وفي سبتمبر من العام نفسه، ذهب للعمل لمدة عام تحت إشراف جي. جي. تومسون في معمل كافنديش، ولكنه وجد من العسير عليه التكيف هناك، وذلك من ناحية بسبب قصور لغته الإنجليزية وطبيعته الخجولة، ومن ناحية أخرى بسبب أن اهتماماته البحثية لا تتوافق مع اهتمامات معمل كافنديش آنذاك، ثم سبب ثالث وهو أن جي. جي. الذي أصبح في منتصف خمسينيات العمر لم يعد مثلما كان قادرا على تقبل أفكار جديدة. ولكن في شهر أكتوبر، ألقى راذرفورد محاضرة عرض خلالها أحدث إنجازاته التي كان لها تأثيرها القوي في الفتى بور. وبعد شهر زار بور واحدا من زملاء أبيه القدامى في مانشستر، وقام صديق العائلة هذا (بتحريض من بور) بدعوة راذرفورد لكي ينضم إليهما على دعوة إلى الغداء. وعلى الرغم من حاجز اللغة، تفاهم راذرفورد وبول وفهما بعضهما جيدا وعلى نحو مباشر(وباستثناء الاهتمامات العلمية المشتركة، فإن راذرفورد من دون الناس جميعا كان يفهم جيدا معنى أن يكون المرء

(*) إذا شئنا الدقة، أن كوكبا في مدار حول نجم يتحرك في نطاق جاذبية النجم سيولد إشعاعا جاذبيا ويفقد ببطء الطاقة بالطريقة نفسها؛ ولكن الجاذبية بمثل هذه الحالة قوة ضعيفة (وفي النهاية، سوف نحتاج إلى جاذبية كوكب الأرض كلها للتغلب على القوى الكهربية بين بضع ذرات داخل ساق دقيقة لتفاحة لجعلها تسقط من الشجرة) بحيث إنها لا تحدث أي تأثير واضح على مدار كوكب مثل كوكب الأرض، حتى ولو بعد بلايين السنين.

غريبـــا في كيمبريدج مع بداية حياتـــه العملية)، وتمثل حصاد ذلك في أن بور في مارس 1912 انتقل إلى مانشستر، حيث قضى فيها الشهور الستة الأخيرة المتبقية من زيارته لإنجلترا. وهناك أنجز أول نموذج كوانتي للذرة، وبني أساســا على نموذج راذرفورد، علـــى الرغم من أن إتمام عمله احتاج إلى أكثر من شهور ستة.

عـــاد بـــور إلى الدنمـــارك في صيف العـــام 1912، وتـــزوج بخطيبته مارغريت نورلند في الأول من أغسطس، وتولى منصبا متواضعا للتدريس بجامعة كوبنهاغن في الخريف. وأكمل هناك ثلاثية أبحاث عن بنية الذرة، والتي صدرت جميعها منشورة قبل نهاية العام 1913، وتشكل هذه الثلاثية القاعدة للإنجاز الذي ســيحصل بســببه على جائـــزة نوبل 1922. تكمن عبقرية، أو موهبة بور الكبـــرى طول حياته العملية في قدرته على الربط بين أي أجزاء في الفيزياء مهما كانت صغيرة ولكنها لازمة لصناعة نموذج عمل لظاهرة ما. لم يكن ليزعج نفسه كثيرا بشأن الاتساق الباطني للنموذج مـــادام أنه نافع لإعطاء صـــورة في رأس المرء لتصور ما يجري، فضلا عن أنه (كشرط حاسم) يهيئ لنا التنبؤات التي تتوافق مع نتائج التجارب. مثال ذلـــك نموذج راذرفورد - بـــور عن الذرة، الذي يتضمـــن أجزاء من نظرية كلاســـيكية (فكرة الإلكترونات التي تدور في مداراتها) وأجزاء من نظرية الكوانتـــا (فكـــرة أن الطاقة يتم انبعاثهـــا أو امتصاصها فقط في كوانتات منفصلة، hv)؛ ولكنه مع هذا كله يحتوي على بصيرة فيزيائية نافذة كافية لدعـــم الباحثين الفيزيائيين، حتى يتســـنى لهم التوصل إلى ما هو أفضل. والحقيقة أن هـــذه البصيرة الفيزيائية النافذة التي يوفرها لنا جيدة جدا حتى أن هذا النموذج لايزال جوهريا هو نموذج الذرة الذي نتعلم على هديه في المدرسة، وليس بحاجة إلى إعادة أو تكرار هنا. قال بور إن الإلكترونات تبقى بالضرورة في مداراتها حول النواة لأنها فيزيائيا عاجزة عن الابتعاث المستمر للإشـــعاع، كما يمكن أن تكون لو أننا طبقنا القوانين الكلاسيكية. إن الإلكترون يمكنه فقط ابتعاث كوانتا واحدة من الطاقة كل مرة، وهو ما يتطابق مع قفزه من مدار إلى مدار آخر، أو كأن كوكب المريخ ابتعث فجأة وابلا من الطاقة، وظهر في مدار كوكب الأرض. إن المدارات الثابتة تتوافق

مــع كميات ثابتة ومعينة من الطاقــة ولا تكون مدارات بين بين. لذلك فإن الارتفاع والهبوط الحلزوني في تسارع ثابت إلى الداخل مستحيل. لماذا إذن لا تقفــز جميع الإلكترونات، إلى داخــل النواة؟ أكد بور (في هذا تحديدا) أن كل مــدار عامل به «مســاحة» لعدد معين فقط مــن الإلكترونات، وأن الإلكترونات الزائدة الخارجة من النواة لا يمكنها أن تقفز على الداخل إذا كانت المدارات الداخلية ملآنة مقدما (ولهذا ووفق هذا التشــبيه لا يمكن لكوكــب المريخ أن يقفز إلى داخل مدار كوكــب الأرض، لأن كوكب الأرض موجود مقدما فيــه). وأن أقرب الإلكترونات إلى النواة ممنوعة من القفز مباشرة إلى مركز الذرة، ولكن تفسير ذلك لا بد وأن ينتظر (واحتاج الأمر إلى أكثر قليلا من عشــر ســنوات، كما ســوف نرى، عنما اكتشف فيرنر هيزنبــرغ مبدأ عدم اليقين Uncertainty principle)، وطبيعي أن كل هذا لا يعــدو كونه مجرد تلويحة باليد تبشــر بالآتي، ومجــرد نموذج جيد من دون أي أســس بنيوية. ولكن بور عمل ما هو أكثر وأفضل من ذلك. إن كل «قفــزة» لإلكترون من مدار إلى مدار آخر تتوافق مع انطلاق كوانتا محددة مــن الطاقة، وهو ما يتطابق مع طول موجي محدد للضوء. فإذا كان هناك عدد كبير من الذرات المفردة (مثال ذلك عينة من غاز الهيدروجين) وتشع جميعها بهذه الطريقة، فإن الكوانتا (الفوتونات) ســوف تتجمع معا لتؤلف خطا ســاطعا في الطيف لهذا الطول الموجــي. وعبر بور بالرياضيات عن محتــوى النموذج ووفق الطريقة التي يمكن بها ابتعاث الطاقة عندما تقفز الإلكترونات إلى أســفل (أو بالعكس، كيفية امتصاص الطاقة عندما تقفز الإلكترونات صاعدة من مدار معروف إلى مدار آخر)، واكتشف أن مواضع مســارات الطيف التي تنبأ بها النموذج تطابق تماما مواضع المسارات في الطيف موضوع المشاهدة(*). وهكذا قدمت فيزياء الكوانتا التفسير، وبينت لمــاذا وكيف ينتــج كل عنصر بصمته الطيفية الخاصــة الفريدة. قد يكون النمــوذج ضربا من التجميع النزق بين أفكار قديمة وجديدة، بيد أنه أفاد في التطبيق العملي.

(*) تطابقوا على الأقل بالنســبة إلى الهيدروجين، الذرة الأبســط تكوينا؛ وثبت أن من الصعب تماما إنجاز العمليات الحســابية بالنســبة إلى الــذرات المعقدة، ولكن هــذا كان كافيا لبيان أن النموذج نافع عمليا.

جدير بالذكر أن نموذج راذرفورد - بور آثار العديد من الأسئلة مثلما أجاب عن العديد من الأسئلة، ولكنه بين أن السبيل للتقدم إلى الأمام لا بد أن يعتمد فيزياء الكوانتم، علاوة على جهود آينشتين النظرية وتجارب ميليكان. وحدد أيضا الطريق للتقدم وصولا إلى نظرية كوانتم كاملة، وهي التي ستُستحدث في عشرينيات القرن العشرين. وأصبح بور نفسه مطلبا عزيز المنال ذا شهرة واسعة فور تسرب الأنباء عن هذا الإنجاز، حتى قبل نشر أوراق بحوثه الثلاثة. إذ مع بداية العام 1914 عرضت جامعة كوبنهاغن على بور أن تنشئ له منصب أستاذ للفيزياء النظرية إذا كان يعنيه ذلك. ثم كتب راذرفورد إليه رسالة يعرض عليه تعيينه لمدة عامين في مانشستر محاضرا (وهذا منصب كما يفيد اسمه يترك لصاحبه حرية البحث من دون القيام بواجبات التدريس أو واجبات إدارية). وأقنع بور جامعة كوبنهاغن بأن تنتظر (وكان لا يزال في التاسعة والعشرين من العمر)، واقتنص فرصة العمل مع راذرفورد لفترة من الوقت. وعلى الرغم من نشوب الحرب (وقد ظلت الدنمارك محايدة طوال الحرب العالمية الأولى)، قام آل بور برحلة إلى إنجلترا، وكانت رحلة آمنة بالسفينة عاد منها في الوقت المحدد في العام 1916. وعلى الرغم من العروض الكثيرة، ومنها عرض بشغل منصب في مانشستر، فضل بور البقاء في الدنمارك، حيث يتمتع بمكانة تهيئ له فرصة الحصول على التمويل اللازم لعمل معهد بحثي للفيزياء النظرية في كوبنهاغن - ويعرف الآن باسم معهد نيلز بور. واستهوى المعهد أغلبية الباحثين العظام في الفيزياء وقتذاك للقيام بزيارات طويلة أو قصيرة على مدى الأعوام التالية، وأصبح المعهد أيضا محفلا أو منتدى لمناقشة الأفكار الخاصة بفيزياء الكوانتم الجديدة. وفي ثلاثينيات القرن العشرين، أصبح بور نفسه معنيا بالفيزياء النووية وإمكانية الحصول على الطاقة نتيجة الانشطار النووي. وعندما احتلت القوات الألمانية الدنمارك في الحرب العالمية الثانية ساور بور القلق خوفا من إمكانية حصول النازي على الأسلحة النووية، لذلك هرب عبر السويد إلى بريطانيا. وعمل مع ابنه آغ بور (الذي حصل هو الآخر على جائزة نوبل في العام 1975) مستشارا لمشروع مانهاتن. وبعد الحرب دعا نيلز

بور إلى الاستخدامات السلمية للطاقة النووية، وكان شخصية قيادية في مؤسسة CERN، مركز البحوث الأوروبي للفيزياء الجسيمية في سويسرا. ووافته المنية في 18 نوفمبر العام 1962، وخلفه ابنه آغ بور مديرا لمعهد كوبنهاغن.

إن من أفضل الأمور بشأن نموذج بور عن الذرة وعمليات الصقل التي طرأت عليه في عشرينيات القرن أنه هيأ الأساس لفهم الكيمياء - كيف ولماذا بعض العناصر تتفاعل بعضها مع بعض لتكوين مركبات بينما عناصر أخرى لا تتفاعل. بيد أننا سوف ندخر القصة لنحكيها في الفصل التالي، حين نعرض لكيمياء الحياة. ونريد الآن مواصلة رحلتنا داخل الذرة لنرى كيف وصلت بنا فيزياء الكوانتم الجديدة إلى فهم النواة، وفتحت أمامنا عالما جديدا من الفيزياء الجسيمية.

لوي دو بروي

إذا نحينا جانبا الكثير من المسارات والدروب الزائفة التي تحولت إلى دروب مسدودة، ونحينا أيضا تفاصيل بعض الإحصاءات المهمة، وإن كانت عملا تقنيا عن كوانتا الضوء نجد أن الخطوة التالية المهمة في فيزياء الكوانتم تحققت في العام 1924، عندما قدم الباحث الفيزيائي الفرنسي لوي دو بروي (1892 - 1987) في أطروحته للدكتوراه لدى جامعة السوربون (والمنشورة في العام 1925) فكرة أن جميع الجسيمات المادية من مثل الإلكترونات يمكن وصفها على أساس الموجات، تماما مثلما نصف الموجات الكهرومغناطيسية على أساس الجسيمات. وكان دو بروي وافدا متأخرا من حيث السن إلى ميدان الفيزياء (إذ كان في الثلاثين من العمر حين قدم أطروحته) وذلك لسببين، أحدهما أن أسرته الأرستقراطية اعتزمت أن يأخذ مسارا دبلوماسيا في حياته العملية، لذلك شرع في دراسة التاريخ بجامعة السوربون في العام 1909 قبل التحول إلى الفيزياء على غير رغبة أبيه، والثاني الحرب العالمية الأولى التي خدم أثناءها كإخصائي أشعة، وموقعه في برج إيفل. ولكنه يقينا أفاد من الوقت الضائع الذي ولد لديه بصيرة نافذة أساسية إلى عالم ما دون الذرة، مما

أكسبه جائزة نوبل في العام 1929. وتبدو الفكرة للوهلة الأولى بسيطة للغاية عند صياغتها في كلمات، ولكنها تتعارض مباشرة وبشكل تام مع الحس العام.

انطلق دو بروي من معادلتين تنطبقان على كوانتا الضوء (سوف نسميها من الآن فصاعدا الفوتونات، على الرغم من أن المصطلح لم يستخدم إلا بعد عامين من هذا الإنجاز). التقينا في السابق مع إحدى هاتين المعادلتين E= hv. أما المعادلة الأخرى فقد اشتقها آينشتين من نظرية النسبية، وتتعلق بكم حركة الفوتون (p، حيث الرمز m مستخدم سابقا للدلالة على الكتلة) بالنسبة إلى السرعة التي يتحرك بها (c، رمز سرعة الضوء) والطاقة المتولدة عنها E= pc. ووضع دو بروي هاتين المعادلتين معا فأصبحتا hv= pc, Or p= hv/c. وحيث إن الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي (الذي نشير إليه عادة بالحرف اللاتيني الحادي عشر l) مرتبط بتردد l = v/c فإن هذا يعني أن l = h p. أو لنقل بإنجليزية بسيطة إن كمية حركة «جسيم» مضروبة في الطول الموجي للجسيم يساوي ثابت بلانك. ولم تكن هذه الفكرة بحلول العام 1924 فكرة مثيرة حين يتعلق الأمر بالضوء، ولكن دو بروي ذهب إلى أنها تنطبق أيضا على الجسيمات التقليدية جدا خصوصا الإلكترونات. وتأسيسا على ذلك وضع تصورا لنموذج الذرة حيث الإلكترونات تمثلها موجات تجري حول «المدارات» أشبه بثعبان يلتف حول نفسه ويعض ذيله. وقال إن المستويات المختلفة لطاقة الإلكترونات في الذرة تتطابق مع توافقات لحنية مختلفة لهذه الموجات، أشبه بألحان يجري عزفها على وتر غيتار منتزع من مكانه، وأن المسموح به فقط المدارات التي تتوافق معها بدقة هذه الأنغام، حيث ارتفاع وهبوط الموجة يقوي إحداها الأخرى من دون أن يلغيها. ولقد كان المشرف على أطروحته وهو بول لانغفان (1872 - 1946) مذهلا إزاء هذا كله، وعرض الأطروحة على آينشتين، الذي قال إنها عمل سديد وتعرض ما هو أكثر من مجرد خدعة رياضية.

حصل دو بروي على درجة الدكتوراه، وعندما سئل في أثناء أدائه الامتحان الشفاهي كيف يمكن اختبار فكرته، أجاب أنه وفقا لمعادلته فإنه يتعين أن تكون الأطوال الموجية للإلكترونات صحيحة لكي تحيد بفعل البنية

الشبكية البلورية. وتأكد تنبؤ دو بروي من خلال تجربتين مستقلتين أجريتا في العام 1927 (واحدة أجراها كلينتون دافيسون (1881 - 1958) وليستر جيرمي (1896 - 1971) في الولايات المتحدة، والأخرى أجراها جورج تومسون (1892 - 1975) في أبردين). اقتسم دافيسون وتومسون جائزة نوبل عن العام 1937؛ ولكن جيرمي فاتته الفرصة، ويقال ربما يكون السبب أنه كان لايزال طالبا «فقط» عندما أجرى التجربة بالاشتراك مع دافيسون. ومع ذلك كثيرا ما يتردد أن حصة جائزة نوبل الممنوحة لجورج تومسون، ابن جي. جي، تبرز غرابة عالم الكوانتم. حصل جي. جي على الجائزة لبرهنته على أن الإلكترونات جسيمات. وحصل جورج على الجائزة لإثباته أن الإلكترونات موجات. وكان كلاهما على صواب.

وحتى ذلك الحين كان ما نعتبره برهانا حاسما على وجود الفوتونات هو أيضا البرهان الذي زودتنا به إنجازات آرثر كومتون (1892 - 1962)، الذي كان يعمل أول الأمر في جامعة واشنطن، سان لويس، ثم بعدها في شيكاغو. أجرى كومتون سلسلة من التجارب تضمنت أشعة إكس مشتتة من الإلكترونات داخل الذرة، وأكد مع نهاية 1923 أن هذا التشتت لا يمكن تفسيره إلا على أساس تبادل لكمية الحركة بين الجسيمات، وحصل مقابل ذلك على جائزة نوبل في العام 1927. ونجد مثالا آخر على المنطق الغريب لعالم الكوانتم أن هذا العمل هو الذي عالج الإلكترونات باعتبارها جسيمات ليثبت أن الإشعاع الكهرومغناطيسي موجة وجسيم في آن واحد، وهذا العمل هو ما ساعد على إلهام دو بروي بالعمل لبيان أن الإلكترونات يمكن أيضا أن تسلك سلوك الموجات! إن ما تقوله لنا معادلة دو بروي هو أن «كل شيء» له طبيعة الموجة - الجسيم المزدوجة. ونظرا إلى أن كمية الحركة مرتبطة بالكتلة (فيما عدا الضوء، الذي غالبا ما يمثل حالة خاصة وحيث الفوتونات ليست لها كتلة بالمعنى الدارج للمصطلح)، ونظرا إلى أن ثابت بلانك صغير جدا، فإن «موجية»، أو الطابع الموجي، لكل شيء عادي، مثلي ومثلك، أو بيت أو كرة قدم، هي شيء صغير جدا بحيث لا يمكن رصده. وأن الطبيعة الموجية لا تكون مهمة إلا عندما تكون كتلة جسم ما (في الوحدات الملائمة) نحو الحجم نفسه مثل ثابت بلانك

أو أقل منه. معنى هذا أن الجانب الموجي لثنائية الموجة - الجسيم الذي نادرا ما يكون مهما حين يكون فوق المستوى الجزيئي لا يمكن إغفاله تماما بالنسبة إلى الذرات الكاملة، ولكنه يمثل عاملا مهما عند وصف سلوك البروتونات والنيترونات، ويكون حاسما بشكل مطلق عند محاولة وصف سلوك الإلكترونات داخل الذرات أو خارجها. ويفيدنا هذا بأن لا أمل في أن نفهم ماهية «الإلكترون» حقيقة في ضوء الحياة اليومية وخبرة الحس المشترك. إنه حرفيا لا يشبه أي شيء رأيناه. ومن ثم فإن كل ما نأمله هو اكتشاف المعادلات - النماذج الرياضية - التي تدلنا على كيفية سلوك الإلكترونات في الظروف المختلفة أحيانا أشبه بالموجة وأحيانا أشبه بالجسيم، وهذا هو تحديدا ما حدث في ميكانيكا الكوانتم، حتى قبل أن يجف حبر أطروحة دو بروي.

أروين شرودنغر والمعادلة الموجية للإلكترونات

النهج الجسيمي في تناول عالم الكوانتم للإلكترونات

إن استحداث نموذج رياضي كامل على هذا النحو يصف سلوك الإلكترونات داخل الذرات لم يحدث مرة واحدة، بل مرتين خلال الشهور التي أعقبت نشر أفكار دو بروي. اتجه المسار مباشرة من دو بروي إلى عالم الفيزياء النمساوي أروين شرودنغر (1887 - 1961)، الذي كان يعمل وقتذاك أستاذا للفيزياء في زيوريخ، واستحدث نموذجا ينبني بالكامل على الموجات. وابتهج إذ شعر بأنه استعاد بعض العقل لعالم فيزياء ما دون الذرة الغريب حين فسر ذلك في ضوء شيء مألوف وميسر مثل معادلة موجية. ولكن ما كاد يُنشر إنجازه في العام 1926، حتى صدمه بشكل مكتوب عرض رياضي كامل آخر يصف سلوك الإلكترونات داخل الذرات، والذي يؤكد، على نحو جوهري، النهج الجسيمي وقفز الكوانتم من مستوى الطاقة إلى مستوى آخر. واستهل هذا النهج الألماني فيرنر هيزنبرج (1901 - 1976) والذي تبعه على الفور زملاء له في جامعة غوتنغن، وهم ماكس بورن (1882 - 1970) وباسكال غوردان (1907 - 1980)، وتلقفه منهما عالم الفيزياء البريطاني الشاب بول ديراك (1902 - 1984). واستحدث

ديــراك أول الأمر رؤية شــكلية رياضيـــة أكثر تجريدا ليصف بها ســلوك الإلكترونات داخل الذرات (نظرية كوانتم كاملة لثالث مرة!) وأوضح أن كلا من النهجين الآخرين متضمَّن داخل تلك الصيغة الشــكلية، وأن كلا منهما مكافِئة للأخرى رياضيا تماما مثلما يكون لك الخيار بأن تقيس مســافة ما بالأميال أم بالكيلو مترات وأن القياس في الحالتين لا يغير المسافة. وحصل كل هــؤلاء فيما عــدا جوردان (تصرف غريب من لجنـــة جائزة نوبل) على جوائز نوبل لإسهاماتهم المختلفة في مجال نظرية الكوانتم.

وتمثل حصاد هذه الموجة المفاجئة من النشـــاط أنه بحلول العام 1927 توافر للباحثين الفيزيائيين إمكان اختيـــار النماذج الرياضية التي يمكنهم اســـتخدامها عند حساب ســـلوك الكيانات الكوانتية من مثل الإلكترونات. وآثر أغلبهم، مثل شـــرودنغر، العمل بالمعادلـــة الموجية لما لها من حميمية. ولكن يجب ألا نرى في هـــذا ما يفيد بأن الصيغة الموجية للواقع الكوانتي تتضمن أي حقيقة أعمق من الصيغة الجسيمية (وإن كان لنا أن نقول شيئا فـــإن نهج الميكانيكا الموجية بحميميته الشـــديدة ينـــزع إلى إخفاء الطبيعة الحقيقيـــة لعالم الكوانتم). إنهما ببســـاطة وجهان لـــكل واحد لا مثيل له في عالم الحياة اليومية، ولكن يمكن أحيانا أن يســـلك ســـلوك الجســـيم وأحيانـــا مثل موجـــة. ولايزال الناس يجادلون عـــن «المعنى الحقيقي» لكل هـــذا. ولكننا، والتزاما بهدفنا، يكفينا الالتزام بالنهج العملي «البراغماتي» ونقـــول إن ميكانيكا الكوانتم تحقق الهدف منها بمعنى أنها تحقق التنبؤات التي تؤكدها التجارب ومن ثم لا يهم ماذا تعني.

هايزنبرغ ومبدأ عدم اليقين:
الثنائية الموجية/ الجسيمية

قدم هايزنبرغ مساهمة أخرى لفيزياء الكوانتم، ولكن المساهمة الجديرة بمناقشـــتها هنا هي مبدأه الشـــهير المعروف بمبدأ عـــدم اليقين. ويرتبط هذا بفكرة الثنائية الموجية - الجسيمية wave- particles duality، وتقول هذه الفكرة إن أزواجا معينـــة من خواص الكوانتم، من مثل الموضع وكمية الحركة، لا يمكن تحديدهما معا بدقة في وقت واحد. إذ هناك دائما قدر

مـــن عدم اليقين (متعلـــق بحجم ثابت بلانك، وهو مـــا يعني ثانية أن هذه الآثــار تظهر فقط بدرجات ضئيلة جـــدا) من حيث قيمة واحد على الأقل من هذيـــن المعلمين، أي المقدارين متغيري القيمـــة. كلما زادت دقة تقييد أحد الطرفين، قلت دقة تقييد الطرف الآخر. والمســألة هنا ليست مجرد أن جهاز القياس القاصر يســبب اضطرابا لعالـــم الكوانتم عندما نحاول قياسه، لذلك فإننا، كمثال، إذ نحاول قياس موضع إلكترون ما فإننا ندفعه دفعة رقيقة فيغير كمية حركته. وهذه قسمة أساسية مميزة لعالم الكوانتم، ولذلك فإن الإلكترون نفســه «لا يعرف» أين تحديدا موجود في المكان ولا إلى أين تحديدا يتجه في وقت واحد. وعبر عن ذلك هايزنبرج بنفسه في ورقة بحث منشورة في العام 1927 إذ قال «نحن لا نستطيع أن نعرف، من حيث المبدأ، الحاضر بكل تفاصيله».

وتبين بعد ذلك أن هذا يمثل جانبا رئيسيا للطريقة التي يعمل بها العالم بحيث يمكن تشييد كل صرح ميكانيكا الكوانتم بداية من مبدأ عدم اليقين، على الرغم من أننا لن نخوض في هذا هنا. ومع ذلك يمكننا جمع عناصر قوة مبدأ عدم اليقين بالعودة إلى لغز لماذا لا تســقط الإلكترونات الخاصة بــذرة ما في نواة الذرة، حتى وإن كان بالوســع أن تفعل ذلك في سلســلة مــن القفزات وليس في صورة حركة حلزونية إلـــى الداخل. إن الإلكترون الـــذي يدور في مداره حول النواة تكـــون كمية حركته محددة للغاية بتأثير خواص المدار، لذلك فإن حالة عدم اليقين بشأن منهج ثنائية كمية الحركة - الموضـــع لا بـــد أن تكون في موضعها. معنى هـــذا أن إلكترونا يدور في مـــداره في مـــكان ما فإن هناك عدم يقين بالنســـبة إلى موضعه - إنه قد يكـــون عند أحد طرفـــي المدار أو عند طرف آخر (أو يمكن أن يكون موجة منتشـــرة حول المدار إذا آثرت هذه الصورة). ولكن إذا ما سقط في النواة فســـوف يتحدد موضعه بدقة شـــديدة - في ضوء حجم النواة. كذلك فإن كمية حركته ستتحدد تماما نظرا إلى أنه لا يتجه إلى أي مكان غير محدد. إذ إن هذا انتهاك لمبدأ عدم اليقين (إذا شـــئت التفكير في الأمر على هذا النحو، فإن لك أن تقول إن النواة صغيرة جدا بحيث لا تتسع لموجة مقترنة بإلكترون للاســـتقرار داخلها). وإذا ســـلمنا بأن العـــدد الملائم موجود في

الداخل مع كمية الحركة الملائمة لإلكترون داخل الذرة، فسوف يبين لنا أن حجـم أصغر مدار للإلكترون داخل ذرة هو أصغر ما يكون من دون إخلال بمبدأ عدم اليقين، وإن أحجام الذرات نفسها (مع واقع أن الذرات موجودة كحقيقة!!) يحددها مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكوانتم.

معادلة ديراك عن الإلكترون

كان لا بد أن يمضي عقدان كاملان بعد الفتوحات العلمية التي شهدها منتصف عشـرينيات القرن لكـي تعود وتتلاحم الأطـراف التي انقطعت لأسباب، أهمها ما أصاب البحث العلمي من تشوش نتيجة الحرب العالمية الثانية. ولكن قبل هذا التشـوش حدث تطوران رئيسـيان جديدان. إذ في العام 1927 نشـر ديراك بحثا عرض فيه معادلة موجية بشأن الإلكترون، والتي جسدت بالكامل شـروط نظرية النسبية الخاصة؛ بدت هي الكلمة الفصل والنهائية بالنسـبة إلـى الموضوع، معادلة الإلكتـرون في صيغتها المحسـومة. مع هذا فإن المثير للفضول هنا، أن المعادلة لها حلان، أو على الأصـح مثلما هي حال المعادلة البسـيطة $X^2 = 4$ التي لها حالان. إذ في مثل هذه الحالة البسيطة إما أن $X = 2$ أو $X = -2$. ولكن ماذا يعني الحل السـلبي الأشد تعقيدا بالنسبة إلى معادلة ديراك؟ يبدو أنه يصف جسيما لـه الخواص المناقضة للإلكترون، إذ يحتوي، وهو الشـيء اللافت للنظر، على شحنة موجبة بدلا من شحنة سالبة. حاول ديراك أولا أن يجعل هذا الحل مطابقا للبروتون الذي له فعلا شحنة موجبة، ولكن له بطبيعة الحال كتلة كبيرة، مما يجعله بعيدا تماما عن أن يكون «إلكترونا سالبا» Negative Electron(*). وتحقق العام 1931 (مع آخرين في السـياق نفسـه) من أن المعادلة تتنبأ فعليا بوجود جسيم غير معروف في السابق له كتلة الإلكترون نفسـها ولكن له شحنة موجبة. وبعد مزيد من بحث المعادلة تبين أنه إذا ما توافرت طاقة كافية (مثال ذلك من أشـعة جاما النشـطة) فإن من الممكن تحولها إلى العكس، في اتساق مع معادلة آينشتين $E = mc^2$، أي إلى ثنائي جسـيم، إلكترون عادي وإلكترون سـالب. ونعرف أن الطاقة لا تتحول إلى

(*) الإلكترون السالب به شحنة موجبة، لأن الإلكترون به شحنة سالبة، وسالبان معا يعطيان موجبا.

جسيم مفرد، ولا حتى إلى إلكترونين، لأن ذلك يعني خرقا لحفظ الشحنة الكهربية. ولكن مع نشوء زوج موجب - سالب فإن جميع الخواص سوف تنتفي، فيما عدا الكتلة (التي تزودت هي نفسها بالطاقة المدخلة).

وجود مضاد المادة

بينما كان كارل أندرسون (1905 - 1991)، في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، يجري تجارب في العامين 1932 و1933، وجد أثرا لمثل هذا الجسيم موجب الشحنة في أثناء دراساته للأشعة الكونية. لم يتحقق من أن البوزيترون، وفقا لما سماه، تم صنعه في الغرفة الغيمية Cloud chamber المستخدمة لدراسة الأشعة الكونية من خلال عملية الإنتاج الزوجي لتحول الفوتون إلى إلكترون وبوزيترون التي تنبأ بها ديراك، ولكن على الرغم من ذلك سرعان ما أدرك آخرون الرابطة. إن مضاد المادة، وهو الاسم الذي أصبح معروفا به، إنما كان معلما حقيقيا للعالم الفيزيائي، وأصبح معروفا الآن أن كل نمط للجسيم له مضاد للمادة مكافئ لخواص الكوانتم المقابلة.

القوة النووية شديدة الحدة

إننا لكي نضع آخر الاكتشافات المهمة في ثلاثينيات القرن العشرين في منظور صحيح، علينا أن نعود إلى الوراء نحو عشر سنوات، أي إلى مطلع عشرينيات القرن. في ذلك الوقت كان النيوترون على وشك الاكتشاف، وتوافرت نماذج مختلفة لجسيم ألفا في محاولة لتفسيره كتوليفة من أربع بروتونات مع إلكترونين. وواضح أن مثل هذا الكيان يجب أن يتفجر إلى أجزاء بسبب التنافر الإلكتروستاتيكي electrostatic repulsion. وأصدر شادويك وزميله اتيين بيلر بحثا في العام 1921، كتبا فيه أنه إذا كان هذا النوع من النموذج لجسيم ألفا صحيحا، فلا بد وأن يكون متماسكا بفضل «قوى ذات كثافة شديدة جدا»، وخلصا إلى نتيجة مؤداها «إن مهمتنا هي اكتشاف مجال ما للقوة من شأنه أن يعيد إنتاج هذه الظواهر»(*). وتنطبق هذه النتيجة في تكافؤ على نماذج جسيم ألفا، الذي يتكون من بروتونين ونيوترونين،

(*) المجلة الفلسفية، المجلد 42، ص 923، 1921.

مثلمـــا تنطبق في الحقيقة على كل النويـــات التي هي في جوهرها كرات من النيوترونات والبروتونات ذات شـــحنة موجبة شـــاملة. ثمة قوة شديدة الحدة وأشد حدة وكثافة من القوة الكهربية في تأثيرها على المسافات القصيرة جدا التي يمثلها قطر نواة الذرة لا بد وأن تتغلب على التنافر الكهربي وتمسك كل شـــيء في تلاحم بعضه مع بعض، أو أصبحت هذه القوة معروفة بأنها القوة النووية شـــديدة الحدة والكثافة، أو فقط «القوة شـــديدة الحدة». وأوضحت التجارب فيما بعد أن هذه القوة أقوى بنحو مائة مرة من القوة الكهربية التي بسببها يوجد نحو مائة بروتون في النويات الأقوى استقرارا. وأكثر من ذلك، يتغلـــب التنافر الكهربي على القوة شـــديدة الحدة ويفجـــر النواة إلى أجزاء. ولكن القوة شديدة الحدة على عكس القوى الكهربية والمغناطيسية والتثاقلية (الجاذبية)، لا تخضع لقانون التربيع العكســـي. إنها شديدة القوة للغاية على مدى محدود نحو 10^{-13} سنتيمتر، ولا يمكن أن نحس بها أبعد من هذا المدى. وهذا هو الســـبب في أن النويات لها حجمها التـــي هي عليه - إذا كان للقوة شديدة الحدة مدى أبعد فإن النويات بدورها ستكون أضخم.

القطعـــة الأخيرة في لغز مكونات الـــذرة أمكن وضعها في مكانها لحل لغز تنامت أهميته خلال عشـــرينيات القرن العشـــرين. ويتعلق بعملية انحلال بائي (انحـــلال بيتا)، والذي فيه تطـــرد الذرة (عمليا نواة الـــذرة) إلكترونا وتتحول خـــلال العملية إلى ذرة من العنصر المجاور في الجدول الدوري. بعد اكتشـــاف النيوترون، أصبح واضحا أن هذه العملية تشتمل عمليا على نيوترون تحول (أو على الأصح حول نفسه) إلى بروتون وإلكترون. وتنحل النيوترونات تلقائيا بهذه الطريقة إذا ما تركت لشأنها خارج نواة الذرة. ولكن من المهم أن ندرك ألا معنى لوجود الإلكترون «داخل النيوترون ثم يفلت - إذ إن هذا غير ممكن كما يوضح لنا مبدأ عدم اليقين الكوانتي (علاوة على أشـــياء أخرى). أن ما يحدث هو أن كتلة - طاقة النيوترون، تحولت إلى كتلة - طاقة إلكترون وبروتون مع قدر تبقى لتزويد الإلكترون بالطاقة الحركية للإسراع بعيدا عن موقع الانحلال.

تمثل اللغز في أن الإلكترون المنطلق بسرعة بعيدا عن النواة بهذه الطريقة بدا قادرا على حمل أي كمية من الطاقة تصل إلى القيمة العظمى Maximum Value. وهذا مختلف تماما عن ســـلوك جســـيمات ألفا التي تنطلق مطرودة

حالة الانحلال الألفي، (إنحلال ألفا). إذ الملاحظ في الانحلال الألفي أن كل الجسيمات المدفوعة خارج نوع محدد من النواة يمكن أن يخرج وبه الطاقة الحركية نفسها، أو أن تخرج وبه قدر أقل من الطاقة، ولكن مصحوبا بأشعة غاما النشطة. وجدير بالذكر أن الطاقة التي يحملها جسيم ألفا وأشعة غاما تضيف مزيدا إلى الحد الأقصى من الطاقة نفسها لهذا النوع من النواة، وتكون الطاقة المنطلقة بهذه الطريقة مساوية للفارق في الكتلة - الطاقة بين النواة الأصلية والنواة المتخلفة بعد الانحلال - ولهذا تكون الطاقة محفوظة. وباقية ولكن جسيمات ألفا الفالتة يمكن أن تكون لها فقط طاقات غير مترابطة بقدر معين، ذلك، لأن فوتونات أشعة غاما تتحدد كميا، ويمكن لها فقط أن تحمل كميات معينة غير مترابطة من الطاقة كمساهمة للمجموع الكلي. ونجد بالمثل أن كمية الحركة والعزم الحركي الزاوي angular momentum محفوظان في الانحلال الألفي. ولكن في الانحلال البائي، وعلى الرغم من وجود حد أقصى معروف لطاقة الإلكترونات المنبعثة من نوع خاص للنواة، إلا أنها تبدو قادرة على الخروج بأقل كمية من الطاقة اللازمة حتى لتكاد تصل إلى الصفر، ومن دون أن يقترن بها فوتون ليحمل عنها الزائد. ويبدو الأمر هنا وكأن العملية تنطوي على خرق لقانون بقاء الطاقة. أولا، بدا أن التجارب أخطأت بالضرورة - ولكن أصبح واضحا مع نهاية عشرينيات القرن العشرين وجود «طيف» متصل من طاقات الإلكترون مقترن بالإنحلال البائي. وبدت خواص أخرى أيضا غير محفوظة في العملية، ولكن لا حاجة بنا إلى الدخول في التفاصيل.

وفي نهاية العام 1930 توصل وولفغانغ بولي (1900 - 1958) إلى رؤية تأملية تفسر ما يجري. ولكي نعرف إلى أي مدى كانت هذه الرؤية صادمة لكثيرين من زملائه يكفي أن نتذكر أنه في هذه الفترة كان الجسيمان التقليديان المعروفان في الفيزياء هما الإلكترون والبروتون (لم يكن الفوتون يعتبر جسيما بالطريقة نفسها، فضلا عن أن النيوترون لم يكن قد اكتشف بعد)، ولهذا فإن الزعم بوجود أي جسيم «جديد» (فضلا عن أنه غير مرئي) كان يعتبر من المحرمات. وقال بولي في رسالة له مؤرخة في 4 ديسمبر 1930:

توصلت إلى مخرج دفعتني إليه الضرورة... أعني إمكانية وجود جسيمات محايدة كهربيا في النواة، والتي سأسميها نيوترونات... وبذلك يمكن فهم طيف بيتا المتصل على أساس افتراض أنه في حالة الانحلال البائي ينبعث نيوترون رفق الإلكترون بحيث يكون مجموع طاقات النيوترون والإلكترون ثابتا»(*).

بعبارة أخرى فإن النيوترون الذي قال به بولي أدى دور شعاع غاما في الانحلال الألفي ولكن مع فارق أن بإمكانه حمل أي كمية من الطاقة الحركية تصل إلى الحد الأقصى المتاح وليست محددة المقدار على طريقة تحديد مقادير فوتونات أشعة غاما.

القوة النووية الضعيفة:

النيوترينو Neutrino

إنه مؤشر يدل على مدى ضعف تأثير الدواء الذي ظن بولي أنه مطلوب بإلحاح أنه في خلال عامين تم إطلاق اسم «نيوترون» على الجسيم النووي الذي حدده شادويك، ولم يكن عن يقين تام هو الجسيم الذي يفكر فيه بولي. ولكن أبت أن تغيب عن الأذهان مشكلة «طيف بيتا المتصل»، وفي العام 1933 تلقف انريكو فيرمي (1901 - 1945) فكرة بولي، وكان قد أفاد من معرفته بأن النيوترون له وجود فعلي. وطور فيرمي فكرة بولي وحولها إلى نموذج كامل، حيث يمكن إطلاق عملية الانحلال بفعل تأثير مجال جديد للقوة، والذي أصبح معروفا بعد ذلك بالقوة النووية الضعيفة (مقابل القوة النووية الشديدة الكثافة). وعرض نموذجه كيف أنه بالإضافة إلى القوة شديدة الحدة التي تبقي على تماسك البروتونات والنيوترونات معا داخل النواة توجد أيضا قوة ضعيفة قصيرة المدى. وأوضح كيف أن هذه القوة يمكن أن تكون سببا في انحلال نيوترون وتحوله إلى بروتون وإلكترون بالإضافة جسيم إلى آخر، جسيم غير مشحون أطلق عليه اسم «نيوترينو» (من الإيطالية، وتعني نيوترون صغير). واستن فيرمي نهجا غير نهج بولي القائم على التأمل النظري، إذ

(*) الاقتباس من «Inward Bound» Pais;.

قدم نموذجا رياضيا يشير بوضوح إلى طريقة انبعاث طاقة الإلكترونات أثناء الانحلال البائي، والذي توافق مع التجارب. وعلى الرغم من هذا، فإن فيرمي أرسل ورقة البحث الذي يعرض فيه إنجازه إلى صحيفة «نيتشر» في لندن، غير أن الصحيفة رفضت الورقة لأنها «مغرقة في التأمل النظري»، ونشرها فيرمي في صحيفة إيطالية. عرضت الورقة دليلا مفصلا وسديدا يدعم الفكرة التي اكتملت على مدى السنوات التالية، غير أنه ثبت أن النيوترينو مراوغ جدا، حتى أنه لم يتسن رصده مباشرة إلا في منتصف خمسينيات القرن العشرين. وحتى نعطي القارئ فكرة عن مدى براعة هذا العمل التجريبي، نقول لو أن شعاعا من النيوترينات انتقل عبر جدار من الرصاص بكثافة 3000 سنة ضوئية، فإن نصفها فقط هو الذي يمكن أن تمسك به نويات ذرات الرصاص على طول هذا الطريق.

إن تحديد النيوترينو يكمل مجموعات الجسيمات والقوى المسؤولة عن طريقة سلوك الأجسام في عالم الحياة اليومية. نحن مؤلفون من ذرات. والذرات مؤلفة من بروتونات، ونيوترونات، وإلكترونات. وتحتوي النواة على بروتونات ونيوترونات تتلاحم معا بتأثير القوة شديدة الحدة التي يمكن للانحلال البائي أن يحدث فيها نتيجة للقوة الضعيفة (والذي يمكن من خلاله في بعض الحالات قذف جسيمات ألفا إلى الخارج نتيجة لعملية توافق باطنية للنواة). وتمثل الإلكترونات سحابة خارج النواة، ثابتة في مكانها بتأثير القوى الكهرومغناطيسية ولكن مسموح لها فقط بأن تمتلك قدرا معينا من الطاقة وفق قواعد فيزياء الكوانتم. وتعتبر الجاذبية، في نطاق أوسع، مهمة لتماسك كتل ضخمة من المادة. هنا نكون بصدد أربعة جسيمات (البروتون، والنيوترون، والإلكترون، والنيوترينو) (علاوة على مضاد الجسيمات antiparticle المقترنة بها) وأربع قوى (الكهرومغناطيسية، والقوى شديدة الحدة والضعيفة والجاذبية) يتعين علينا أن نفكر بشأنها. ويكفي هذا لتفسير كل شيء يمكن أن ترصده وتسجله حواسنا ابتداء من لماذا تسطع النجوم إلى كيف يهضم الجسم الطعام، ومن انفجار قنبلة الهيدروجين إلى طريقة تحول بلورات الجليد إلى ندف «ثلجية».

الديناميكا الكهربية الكوانتية
Quantum electrodynamics

الحقيقة أنه باستثناء الجاذبية، وباستثناء الوسائل المحدودة التي تؤثر بها القوة النووية الضعيفة فينا من خلال النشاط الإشعاعي، فإن كل شيء في عالمنا البشري يكاد يتأثر بالكامل بالتفاعلات بين الإلكترونات بعضها وبعض، وبنويات الذرات موجبة الشحنة وبالإشعاع الكهرومغناطيسي. وتخضع هذه التفاعلات لقوانين ميكانيكا الكوانتم التي ترابطت أجزاؤها في نظرية كاملة عن الضوء (الإشعاع الكهرومغناطيسي) والمادة، وذلك في أربعينيات القرن العشرين وأصبحت هذه النظرية معروفة باسم الديناميكا الكهربية الكوانتية أو QED، ولعلها أكثر النظريات العلمية نجاحا من بين النظريات المستحدثة. وحقيقة الأمر أن نظرية الديناميكا الكهربية الكوانتية استحدثها ثلاثة علماء مختلفين ومستقلين بعضهم عن بعض. وأول من توصل إلى نظرية كاملة هو صن - إيتيرو توموناغا (1906 - 1979)، الذي كان يعمل في ظروف صعبة ومروعة في طوكيو في أثناء الحرب العالمية الثانية وفي أعقابها مباشرة؛ ونظرا إلى هذه الصعوبات لم يظهر عمله مطبوعا إلا في الوقت نفسه الذي ظهرت فيه أبحاث الرائدين الآخرين. وهذان هما الأمريكي جوليان شوينغر (1918 - 1994) وريتشارد فينمان (1918 - 1988). واقتسم ثلاثتهم جائزة نوبل لعام 1965. عمل كل من توموناغا وشوينغر في إطار ما يمكن أن نسميه الإطار الرياضي التقليدي لميكانيكا الكوانتم وقتذاك (وهذا تقليد يعود إلى عقدين سابقين)، واعتمد الاثنان بشكل مباشر على الإنجازات القائمة منذ فتوحات عشرينيات القرن، وبخاصة إنجازات ديراك. واستخدم فينمان نهجا مختلفا، إذ عمد إلى إعادة ابتكار ميكانيكا الكوانتم من البداية. وجدير بالذكر أن هذه المناهج جميعها متكافئة رياضيا تماما مثلما تقول إن رؤى هيزنبرغ - بورن - غوردان، وشرودنغر وديراك لميكانيكا الكوانتا رؤى متكافئة رياضيا جميعها. بيد أننا لا نريد هنا الخوض في التفاصيل، مادامت لدينا صورة فيزيائية محكمة تعطينا إحساسا بكل ما يجري.

وعندما يتفاعل جسمان مشحونان، مثل إلكترونين، أو إلكترون وبروتون، يمكن أن نتصور أنهما بذلك يتبادلان الفوتونات. لنفترض مثلا أن إلكترونين يمكن أن يتحركا معا كل منهما تجاه الآخر، ويتبادلان الفوتونات، ويمكن أن ينحرفا كل إلى طريق جديد. إن هذا التبادل للفوتونات الذي يتولد عنه تنافر ونراه وكأنه قانون تربيع عكسي، هو قانون يظهر طبيعيا من الديناميكا الكهربية الكوانتية. وجدير بالذكر هنا أن القوتين النوويتين الضعيفة وشديدة الحدة يمكن عرضهما على أساس تبادل جسيمات شبه الفوتون بالطريقة نفسها (القوة الضعيفة وما حققته من نجاح، حتى أننا جسدناها في الكهرومغناطيسية ليشكلا نموذجا واحدا، يسمى التفاعل الكهربي الضعيف، ولكن القوة شديدة الحدة أقل قليلا من حيث النجاح). ويسود الظن أن الجاذبية سوف نصفها أيضا على أساس تبادل الجسيمات، وتسمى الجرافيتونات Graviton (جسيم مفترض يمثل وحدة الأساس في الجاذبية)، على الرغم من أنه لم يُستحدَث بعد نموذج كامل للجاذبية الكوانتية Quantum gravity. ولكن دقة الديناميكا الكهربية الكوانطية ذاتها يمكن جمع عناصرها من خلال النظر إلى خاصية واحدة للإلكترون والمسماة اللحظة المغناطيسية Magnetic moment(*). وجدير بالذكر أن الصيغة الأولى التي استحدثها ديراك في نهاية عشرينيات القرن للديناميكا الكهربية الكوانتية مع الاختيار الملائم لوحدات هذه الخاصية تنبأت بأن القيمة 0.1 ولكن التجارب في الوحدات نفسها تقيس قيمة اللحظة المغناطيسية للإلكترون بأنها 1.00115965221 مع احتمال عدم يقين قدره ناقص أو زائد 4 في الرقم الأخير. وتجلى هذا سابقا كإنجاز عظيم أقنع علماء الفيزياء في ثلاثينيات القرن أن الديناميكا الكهربية الكوانتية تسير على الطريق الصحيح. ولكن الصيغة النهائية للديناميكا، الكهربية الكوانطية تتنبأ بقيمة 1.00115965246 مع احتمال عدم يقين قدره ناقص أو زائد 20 في الرقمين الأخيرين. وهنا نجد التوافق بين النظرية والتجربة 0.00000001، بالمائة، وهذا هو ما اعتاد أن يشير إليه فيمان مبتهجا وهو يساوي قياس المسافة من نيويورك إلى لوس أنجلوس مع سمك قدره شعرة إنسان. ويعتبر هذا حتى الآن أدق مطابقة بين النظرية

(*) هذا مثال نموذجي، ولم نختره لأنه المقارنة الجيدة الوحيدة بين النظرية والتجربة.

والتجربة بالنسبة إلى أي تجربة تم إجراؤها على سطح كوكب الأرض(*). وهذا مثال أصيل يوضح كيف يمكن للعلم أن يفسر سلوك العالم الفيزيائي الذي نسكنه ونعيش فيه حياتنا اليومية. ويوضح لنا كذلك إلى أي مدى وصلنا الآن منذ أن بدأ رجال مثل غاليليو ونيوتن في مقارنة النظرية مع المشاهدة والتجربة بأسلوب علمي صحيح.

المستقبل؟ الكواركس والوتر

عكف علماء الفيزياء خلال النصف الثاني من القرن العشرين على عمليات سبر أغوار النواة وبحث أحداث الطاقة العالية high energy events مستخدمين مسرعات عملاقة للجسيمات، وكشفوا خلال عملهم عن عالم جسيمات ما دون الذرة، ووجدوا (على الأقل عند المستوى الأول لهذا العالم الجديد) أن بالإمكان تصور البروتونات والنيوترونات باعتبارها مؤلفة من كيانات نسميها كواركس Quarks متماسكة مع بعضها بفعل تبادل كيانات مماثلة للفوتونات، ووجدوا أن القوة النووية شديدة الكثافة ما هي إلا تجل ظاهري لهذه القوة الأعمق في حالة تأثيرها النشط. وفي مطلع القرن الواحد والعشرين اقتنع كثيرون من علماء الفيزياء بالدليل المتاح الذي يفيد أن هذه «الجسيمات» يمكن أن نفهمها على أحسن وجه، باعتبارها تجليات لطبقات أعمق من النشاط والتي تتضمن عقدا دقيقة «وتر» في حالة ذبذبة. ولكن لايزال الوقت مبكرا جدا لكي نتمكن من كتابة تاريخ كل هذا العمل، ويبدو لي أن من الملائم أن نختتم هذا السرد الخاص عند مستوى النويات والذرات - حيث إنها لاتزال حتى الآن المستوى الأعمق الذي له تأثيره على حياتنا اليومية. وأن ما نحن في حاجة إليه بوجه خاص، كما سوف نعرض في الفصل التالي، هو تفسير الطريقة التي تعمل بها الحياة ذاتها.

* * *

(*) تم اختبار نظرية النسبية العامة إلى هذا الحد من الدقة، وذلك في نهاية القرن العشرين، عن طريق قياس التغيرات في الخواص المرصودة للأجرام السماوية المعروفة باسم النوابض المزدوجة أو الثنائية binary pulsars. والتي تبعد عن الأرض بسنوات ضوئية كثيرة؛ ولكن على الرغم من أن هذا يمثل إنجازا مثيرا غير أنه ليس الشيء نفسه مثل إجراء تجارب في ظروف يمكن التحكم فيها داخل معمل على سطح الأرض.

14

عالم الحياة

«إن إزاحتنا عن مركز المسرح حدث عميق، مثل عمق نظرتنا إلى مكان كوكب الأرض نفسه في الكون باتساعه»

المؤلف

أعقد الكائنات في الكون

نحن أعقد الكائنات التي نعرفها في كل الكون. وسبب ذلك على النطاق الكوني للكائنات أننا متوسطو الحجم. وكما سبق أن رأينا، الأجرام الصغيرة مثل الذرات مؤلفة من بضعة كيانات بسيطة قليلة خاضعة لبضعة قوانين بسيطة. وكما سوف نرى في الفصل التالي، فإن الكون بأكمله ضخم للغاية، حتى أن دقائق مبهمة يصعب الكشف عنها لأجرام ثابتة منتظمة في ضخامة النجوم يمكن إغفالها، وأن الكون كله يمكن معالجته كجرم واحد مؤلف من طاقة، كتلة في حالة وزع سلس منتظم وخاضع، للمرة الثانية، لبضعة قوانين شديدة البساطة. ولكن نجد على

النطاقــات التي تكون فيها الذرات قــادرة على أن تتضام وتؤلف جزيئات، فــإن عــدد المركبات الممكنة، علـــى الرغم من أن القوانين لاتزال شـــديدة البساطة - أعني عدد الوسائل المختلفة التي يمكن أن تتلاحم عن طريقها الــذرات وتكون جزيئـــات - عدد هائل بحيث يمكـــن أن توجد أنواع كثيرة وشـــديدة الاختلاف ذات هياكل معقدة وأن تتفاعل بعضها مع البعض عبر وســـائل دقيقة. والحيـــاة كما نعرف هي مظهر أو تجل لهـــذه القدرة التي تتمتع بها الـــذرات لتكوين نوع معقد من الجزيئـــات الضخمة. ويبدأ هذا التعقد مـــع المرحلة التالية بعد الذرات، مع الجزيئات البســـيطة مثل الماء وثاني أكســـيد الكربون، وينتهي حيث تبدأ الجزيئات في الخروج مدفوعة قســـرا بفعل الجاذبية خارج الوجود، حال تعاملنا مع بواطن أجرام بحجم الكواكـــب الضخمة، بل وذرات انتزعت منها تماما إلكتروناتها حال تعاملنا مع أجرام بحجم النجوم.

إن الحجـــم الدقيـــق لكتلة مادة لازمـــة لتدمير التعقـــد الذي تتوقف عليه الحياة كما نعرفها تحدده القوى المختلفة للقوي الكهرومغناطيســـية والجاذبية. إن القوى الكهربية التي تحافظ على تماسك الجزيئات بعضها ببعض هي أقوى 3610 أمثال من قوى الجاذبية التي تحاول دفع الجزيئات قســـرا خارج الوجود داخل كتلة المادة، وعندما تكون الذرات معا في كتلة من المادة لا تكون هناك شـــحنة كهربية شـــاملة، ذلك لأن كل ذرة محايدة كهربيـــا. لذلك فإن كل ذرة تكون مســـتقلة بذاتها جوهريـــا عندما تواجه الجاذبيـــة من خلال قوة الديناميكا الكهربيـــة الكوانتية QED، ولكن قوة الشـــدة الجاذبية الداخلية على كل ذرة في كتلة المادة تزيد مع إضافة كل ذرة تكون زيادة تسهم في بنية كتلة المادة. ونعرف أن كمية الكتلة في جسم كروي ذي كثافة معينة تتناســـب مع مكعب نصف القطر (للكثافة الثابتة)، لكن قوة الجاذبية تنقص وفقا لقانون التربيع العكســـي، لذلك فإنه وعلى أســـاس نصف قطر كتلة المادة تكتسب الجاذبية على السطح قوى كهربية وفقا لثلثي القوة. معنى هذا أنه حيث إن 36 هي ثلثا 54، فعندما تتلاحم 5410 مـــن الذرات معـــا في كتلة واحدة، فإن الجاذبيـــة تكون لها الهيمنة وتتفتت الجزيئات المعقدة.

ولنتخيل أننا بدأنا بمجموعة من الأجســام المؤلفة من 10 ذرات، 100 ذرة و1000 ذرة وهكذا، وأن كل كتلة تحتوي على عشرة أمثال ذرات الكتلة الســابقة عليها، نجد أن الجســم الرابع والعشرين ســيكون بحجم مكعب السكر، وأن الجسم السابع والعشرين بحجم حيوان ثديي ضخم، والجسم الرابع والخمسين بحجم كوكب المشتري والجسم السابع والخمسين بحجم الشــمس، حيث إن الذرات تحطمها الجاذبية مخلفــة مزيجا من النويات الإلكترونات الطليقة التي نســميها البلازما. وتأسيســا على هذا الســلم اللوغاريتمــي، يحتل البشــر بالدقة نصف الطريق مــن حيث الحجم بين الذرات والنجوم. وســوف يكون الجسم التاســع والثلاثون في مجموعتنا مســاويا لصخرة قطرها كيلومتر، ويمكن القول إن عالم الأشــكال الحية مثلنا يقع ما بين أحجام كتل الســكر وأحجــام الكتل الصخرية الضخمة. وهــذا العالم الوســط هو إلى حد مــا العالم الذي بحثه تشــارلز داروين وخلفاؤه لوضع نظرية التطور عبر الانتخاب الطبيعي. ولكن أســاس تعقد الحيــاة التي نراها حولنا في هذه النطاقات رهن عمليات كيميائية تجري عند مستوى أعمق قليلا حيث تمثل، كما نعرف اليوم، الدنا المكون الرئيسي للحيــاة. جدير بالإشــارة أن قصة كيفية التعرف علــى الدنا وتحديد أنها مفتــاح الحياة هي القصة الكبرى الثانية في علم القرن العشــرين، وأنها، مثل قصة فيزياء الكوانتم بدأت على وجه التحديد مع فجر القرن الجديد، علــى الرغم من أننا بذلك نغفل الســلف الســابق علــى الطريق إلى هذه الاكتشافات.

تشارلز داروين.. ونظريات التطور في القرن العشرين

منذ الوقت الذي أشــعل فيه نشر كتاب «أصل الأنواع» في العام 1859 جدلا عظيما، أضحــى فهم عملية التطور عن طريــق الانتخاب الطبيعي معلما لحقبة زمنية جديدة بدأت مع الفترة الباقية من القرن التاسع عشر، وإن كان هنــاك مــن يرى أنها تعــود إلى ما قبل ذلك. تمثل أحد أســباب الجدل في مشــكلة الجدول الزمني للتطور، الذي أســلفنا ذكره والذي لم يتســن حســمه إلا في القرن العشــرين بعد أن فهمنا النشاط الإشعاعي.

لكـــن على الرغم من أن داروين (وآخرين) كافحـــوا مؤكدين طول الفترة الزمنيـــة اللازمة للتطور، فـــإن قوة القضية التي طرحهـــا علماء الفيزياء (وبخاصة وليام تومســـون/ لورد كلفين) وضعت داروين في موقف الدفاع. والســـبب الثاني، ولعله الأهم، أن داروين ومعاصريه لم يفهموا آلية انتقال الخصائـــص من جيل إلى الجيل التالي، أعني آلية الوراثة. وهذا بدوره لم يتضح إلا بعد فترة في القرن العشرين.

عرض داروين أفكاره عن الوراثة لأول مرة على العالم في العام 1868، في فصل في ختـــام كتابه «تغير الحيوانات والنباتات بفعل الاســـتئناس»، وتكشـــف عن طريقة تفكير كثيرين من علمـــاء البيولوجيا في ذلك الزمن، علـــى الرغم من أن داروين قدم النموذج الأكثر اكتمالا. وأطلق عليه اســـم «التكوين الشامل» (Pangenesis)، من اليونانية Pan، للإشارة إلى مساهمة كل خلية من خلايا الجســـم في التكويـــن (Genesis)، بهدف إيصال فكرة التكاثر. وكانت فكرته أن كل خلية في الجســـم تســـهم بجســـيمات دقيقة (ســـماها البريعمـــات gemmules) يحملها الجســـم وتختزنهـــا الخلايا التناســـلية، البويضة أو الحيوان المنوي، لتنتقل إلى الجيل التالي. وجســـد النموذج أيضا فكرة الوراثة المزيـــج (blending inheritance)، والتي تعني أنه عنـــد اتحاد اثنين لإنتاج ذرية، فإن الذريـــة تمثل مزيجا من خصائص الأبوين. وقد يبدو مذهلا في نظر المحدثين أن تشـــارلز داروين نفسه هو الذي طور هذه الفكرة، والتي تعني ضمنا، على سبيل المثال، أن أبناء امرأة طويلة القامة ورجل قصير القامة ينمون إلى طول متوسط. وهذه تتعارض تماما مع الفهم الأساســـي للتطور عن طريق الانتخاب الطبيعي، وشـــرط التباين بين الأفراد للانتخاب، مادامت الوراثة المزيج ســـتؤدي خلال بضعة أجيال إلى بشـــر متماثلين. وجدير بالذكر أن داروين نفسه في الواقع رأى أن هذه الفكرة توضح لنا إلى أي مدى كان علماء البيولوجيا بعيدين تماما عـــن الفهم الصحيـــح للوراثة وقتذاك. ونحن نرى فـــي ضوء هذه الخلفية الأســـاســـية مراجعات داروين الكثيرة لكتاب «أصل الأنواع» حيث نزع أكثر فأكثـــر تجاه الموقـــف اللاماركي، بينما يدفع خصومـــه أن التطور لا يمكن أن يجري في سلســـلة مـــن الخطوات الدقيقة التـــي تصورها في الصيغة

الأصلية للانتخاب الطبيعي، الأشـــكال الوســيطة (مثل زرافة بدائية ذات رقبة أطول من رقبة الوعل ولكن أقصر من أن تعتشــب من قمم الأشجار) لن تكون قابلة للحياة (*). وذهب نقاد داروين من أمثال الإنجليزي صاحب الاسم المثير سانت جورج جاكسون ميفارت (1827-1900) إلى أن التطور يقتضي تغيرات مباغتة في خطة الجســم من جيل إلى جيل، حيث الوعل يمكــن نتيجة لذلك أن يلد زرافة. ولكن لم تكن لديهم آلية لهذه العملية إلا أن ينســبوها إلى حــدث خارق. وكان داروين على أقــل تقدير يلتزم نهجا صحيحــا عندما أكد أهمية الخلايــا الفردية في التكاثر. ونجد هذا حتى فـــي فكرته بأن الخلايا التناســلية تحتوي على «جســيمات» دقيقة تحمل المعلومات من جيل إلى جيل.

دور الخلايا في الحياة.. انقسام الخلايا

لــم يتضح دور الخلايا باعتبارها المكون الأساســي للكائنات الحية إلا مع نهاية خمســينيات القرن التاسع عشر، وهو الوقت نفسه الذي كان فيه داروـــن يعــرض نظريته عن التطور عبر الانتخــاب الطبيعي على جمهور واسع. وأدي تحسن الأدوات والتقنيات الميكروسكوبية إلى حفز هذا النجاح لدرجة كبيرة. ورأى ماتياس شــليدين (1804-1881) في العام 1838 أن جميع الأنســجة النباتية مؤلفة من خلايا، وبعد العام وســع تيودور شفان (1810-1882) مــن نطاق هذه النظرة لتشــمل الحيوانات، إذ ذهب إلى أن جميــع الكائنات الحية مؤلفة من خلايا. وأفضي هذا إلى فكرة محددة قال بها جون غودســير (1814-1867) وآخــرون وتفيد هذه الفكرة بأن الخلايا تنشأ فقط من خلايا أخرى عن طريق الانقسام، وهذه هي الفكرة ذاتها التي احتضنها وطورها رودولف فيرشــو (1821-1902) في كتاب له بعنوان Die Cellular- Pathologie المنشور العام 1858، وقرر فيرشو، الذي كان يعمل أســتاذا لعلم الأمراض في برلــين، وبوضوح أن «كل خلية مشتقة من خلية سابقة عليها»، وطبق هذا المذهب على مجال دراسته في

(*) ليس هنا المكان للدخول في تفصيلات لبيان خطأ هؤلاء النقاد، لكن إذا شاء القارئ أن يعرف كيــف يعمل التطور، علاوة على أمور أخــرى، ليحول الوعل إلى زرافة، فإن أفضل ما تبدأ به هو كتاب ريتشارد دوكينز، «صانع الساعات الأعمى» Richard Dawkins, the Blind Watchmaker.

الطب، وأفاد أيضا بأن المرض ليس أكثر من استجابة خلية (أو خلايا) إزاء ظروف شــاذة. وأوضح بشكل خاص أن الأورام هي من نتاج خلايا موجودة مســبقا في الجســم. وثبتت الجدوى المهولة لهذا كله بوسائل عديدة، كما تفجر الاهتمام بدراسة الخلية. بيد أن فيرشو وضع كل بيضه النظري في ســلة واحدة وكان معارضا بقوة لنظرية «الجراثيم» كسبب للعدوى (ورفض أيضــا نظرية التطور عن طريق الانتخاب الطبيعــي). معنى هذا أنه على الرغم مما قدم من إسهامات كثيرة للطب، وخدم في الرايشتاغ (*) (حيث كان خصما لأوتو فون بســمارك) وعمل في مجال التنقيب عن الآثار العام 1879 بغية اكتشــاف موقــع معركة طروادة لهومر، غيــر أنه لم يضف أي إسهام مباشر للقصة التي نحكيها هنا.

اكتشاف الكروموسومات ودورها في الوراثة

التقنيات المجهرية (الميكروســكوبية) المتاحة وقتذاك كانت أكثر من كافية لبيان بنية الخلية التي تشبه وعاء للهلاميات المائية التي بداخلها مادة متمركزة في الوســط، وتعرف باسم النواة. ولقد كانت جيدة جدا في الحقيقة حتى أن كلا من هيرمان فــول (1845-1892) وأوســكار هيرتويغ (1849-1922) شــاهد في استقلال عن الآخر في أواخر سبعينيات القرن التاسع عشر نفاذ الحيــوان المنوي إلى داخل البويضة (اشــتغل الاثنان على قنافذ البحر، نظرا لخاصيتها بالغة الأهمية، وهي شــفافيتها)، وشــاهدا بذلك نويتين تلتحمان لتكونا معا نواة جديدة تجمع مادة مستمدة من (موروثة من) كلا الأبوين. وفي العام 1879 اكتشف ألماني آخر يدعى والتر فلمنغ (1843-1915) أن النواة تحتوي على بنيات تشــبه الخيط وتمتص الصبغات الملونة التي يســتخدمها إخصائيو الميكروسكوبات لصبغ الخلايا وإبراز بنيتها، وأصبحت هذه الخيوط تعرف باســم الكروموسومات. وشــاهد كل من البلجيكي إدوارد فان بنيدين (1846-1910) وفلمنغ، كل على نحو مســتقل، في ثمانينيات القرن التاسع عشر، طريقة تضاعف الكروموسومات اقتسامها بين الخليتين الوليدتين عند انقســام الخلية. والتقط أوغست ويزمان (1834 - 1914)، بجامعة فريبرغ،

(*) Reichstag، هو البرلمان الألماني - [المحررة].

هذا النهج في الدراســة في ثمانينيات القرن التاسع عشر. وجدير بالذكر أن ويزمان هو الذي أوضح أن الكروموســومات حاملة للمعلومات الوراثية، وبين لنا أن «الوراثة تتحقق من خلال انتقال مادة ذات تكوين كيميائي، وأيضا وهو الأهم ذات تكوين جزيئي، من جيل إلى جيل»(*). وسمى هذه المادة كروماتين، وأوضح نوعين من الانقســام الخلوي الذي يحدث في أنواع مثل نوعنا. وحين يحدث انقسام خلوي من النوع المقترن بالنمو والتطور، فإن جميع كروموسومات الخلية تتضاعف قبل أن تنقسم الخلية بحيث تستوعب كل خلية وليدة نسخة من مجموعة الكروموسومات الأصلية، كذلك أثناء الانقسام الخلوي من النوع المنتج لبويضة أو حيوان منوي، فإن كمية الكروماتين تنقسم إلى نصفين بحيث يتم اختزان مجموعة الكروموســومات كاملة إلى حين التحام هاتين الخليتين لخلق إمكانية نشــوء فرد جديد(**). ولقد كان ويزمــان هو الذي بين لنا مع السنوات الأولى من القرن العشرين أن الخلايا المسؤولة عن التكاثر لا تشارك في عمليات أخرى تجري داخل الجسم. وأوضح كذلك أن الخلايا التي تؤلف بقية الجســد لا دخل لها في صنع الخلايا التناسلية، ورأى أنه لذلك السبب تعتبر فكرة داروين عن التكوين الشــامل فكرة خاطئة حتما، علاوة على هذا فإن فكرة لامارك عن مؤثرات خارجية من البيئة تسبب بشكل مباشر التغاير والتبايــن من جيــل إلى الجيل التالي إنما هي فكرة يمكن إســقاطها (وإن لم يسد هذا السبيل أمام أنصار لامارك من مواصلة الجدل والمحاجة دفاعا عن قضيتهم لفترة طويلة في القرن العشرين). وظهر فيما بعد اكتشاف يفيد بأن الإشــعاع يمكن أن يتسبب فيما نعرفه الآن باسم الطفرات عن طريق التدمير المباشر لـ DNA في الخلايا التناسلية، بيد أن هذا الاكتشاف لم ينل بأي حال من قوة حجة ويزمان، حيث إن هذه التغيرات العشوائية ضارة بشكل ثابت إلى حد كبير، كما أنها يقينا لا تجعل سلالات الكائن العضوي الحي المضار قادرة على التكيف بصورة جيدة مع بيئاتها.

(*) الاقتباس من دافيد يونغ في كتاب «اكتشاف التطور».

(**) يصــدق كل هذا بطبيعة الحال على التكاثر عن طريق الممارســة الجنســية. ولكن التكاثر اللاجنســي أبسط إلى حد كبير، حيث الخلية الوليدة نسخة مطابقة تماما لخلية الأبوين (ولكن انظر غريبين وشــيرفاس في كتابهما «لعبة الاقتران»، حيث إننا نوع يتكاثر جنســيا، فإن التكاثر الجنسي هو الذي يمثل محور قصتنا.

شمولية التكوين ضمن الخلوي

بينما كان ويزمان عاكفا على سبر التكوين الداخلي للخلية للتعرف على الوحدات الكيميائية الحاملة للوراثة، نجد في هذا الوقت نفسه عالم النبات الهولندي هوغو دو فرايس (1848-1935) عاكفا هو الآخر على دراسة نباتات كاملة بغية النفاذ ببصيرة لاكتشاف كيفية انتقال الخصائص المميزة من جيل إلى آخر. وفي العام 1889، أي بعد سبع سنوات بالضبط من وفاة داروين، نشر دو فرايس كتابا بعنوان «شمولية التكوين ضمن الخلوي (Intercellular Pangenesis) الذي حاول فيه ملاءمة أفكار داروين مع الصورة التي بدأت تظهر عن كيفية عمل الخلايا. جمع بين هذه الصورة وبين المشاهدات عن كيفية عمل الوراثة في النبات ورأى أن خصائص نوع ما لا بد أن تكون مؤلفة من عدد كبير من الوحدات المتمايزة، كل منها نتاج عامل وراثي واحد انتقل من جيل إلى الجيل التالي بشكل مستقل عن الآخر إلى حد ما. وسمي عوامل الوراثة «البانجينات» (Pangens) أو المورثات (الجينات) الكلية (Pang) (وتجري ترجمتها أحيانا إلى الإنجليزية بكلمة Pangenes)، والمشتقة من مصطلح اصطنعه داروين وهو شمولية التكوين Pangenesis، لكن دراسات ويزمان (وآخرين) بينت أن الجسم كله ليس مشتركا في إنتاج العوامل الوراثية ولذلك تم إسقاط البادئة «كل - شامل Pan»، ليبقى لنا المصطلح الحديث المألوف «جينة» (Gene) أو المورثة. وأول من استخدمها هو دين ويلهلم جوهانس 1909م.

غريغور مندل: مؤسس علم الوراثة

في تسعينيات القرن التاسع عشر أجرى دو فرايس سلسلة من التجارب لإنتاج سلالات نباتية (Plant breeding) سجل خلالها بدقة الطريقة التي يمكن بها تتبع أثر خصائص معينة (مثل ارتفاع النبات أو لون أزهاره) عبر الأجيال. وقام بدراسات مماثلة في الوقت نفسه في إنجلترا وليام باتيسون (1861-1926)، الذي سك فيما بعد مصطلح «علم الوراثة» (genetics) للدلالة على دراسة كيفية حدوث الوراثة. وبحلول العام 1899، أصبح دو فرايس مستعدا لتجهيز عمله للنشر. وبينما هو كذلك قام بعملية مراجعة

ومسح للدراسات العلمية حتى يتسنى له وضع استنتاجاته في سياق صحيح، لكنه اكتشف هنا أن أغلب استنتاجاته التي توصل إليها بشأن الوراثة سبق نشرها بالفعل في بحثين يكاد لم يقر أهما أحد، بل ونادرا ما يأتي ذكرهما على لسان أحد، كاتبهما هو راهب مورافي يدعى غريغور مندل. وتبين أن هذا العمل سبق أن عرضه مندل في بحثين قرأهما أمام جمعية العلم الطبيعي في برون (هكذا كان اسمها في الماضي، والآن برنو في جمهورية التشيك) العام 1865، ثم نشرتهما الجمعية بعد عام واحد ضمن محاضر جلساتها. وكم هو يسير تخيل مشاعر دو فرايس عند حدوث هذا الاكتشاف. ولكنه عمد، ربما من باب المراوغة البسيطة، إلى نشر اكتشافاته هو في ورقتي بحث ظهرتا في مطلع العام 1900، ونلحظ أن الأولى، وهي بالفرنسية، لم تذكر شيئا عن مندل. ولكن ورقة البحث الثانية بالألمانية، نسبت الفضل وبقدر من السخاء إلى سلفه، وقال فيها معقبا «إن هذا التسجيل المهم نادرا ما يذكره أحد حتى إنني لم أعرف عنه شيئا على الإطلاق إلا بعد أن فرغت تماما من تجاربي وخلصت منها بشكل مستقل بالقضايا سالفة الذكر»، ولخص ذلك بقوله:

> استخلصت منها ومن تجارب أخرى أن قانون فصل الهجينة الذي اكتشفه مندل بالنسبة لنبات البازلاء يجد تطبيقا عاما وشائعا للغاية في مملكة النبات كما أن له أهمية أساسية لدراسة الوحدات التي تتألف منها السمة المميزة للنوع.

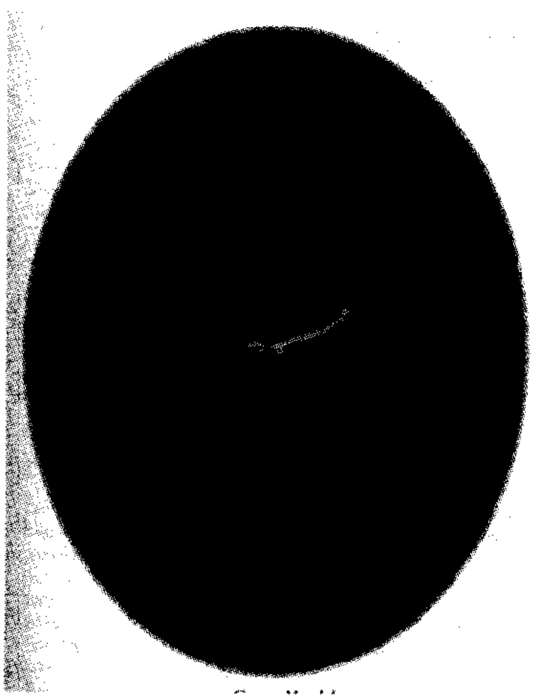
ويبدو واضحا أن كان هذا هو زمن الفكرة بالفعل. إذ في ألمانيا كان كارل كورينز (1864-1933) عاكفا على دراسة وفق مسار مماثل، والتقى عرضا بأبحاث مندل بينما كان يعد دراسته للنشر، وتلقى نسخة من بحث فرايس بالفرنسية. في النمسا واجه إريك تشيرماك فون سيسنيغ (*) المصير نفسه، وتمثل الحصاد كله في أن أساس الوراثة أصبح مؤكدا وواضحا واعترف كل من المكتشفين الثلاثة للمبادئ الأساسية للوراثة

(*) كان تشيرماك البالغ من العمر 26 عاما لايزال وقتذاك طالبا بالجامعة، واكتشف فعلا وبشكل مستقل أبحاث مندل، لكنه قدم فقط مساهمة متواضعة باسمه بالمقارنة بمساهمات دو فرايس وكورنس.

بالفضل لمندل باعتباره المكتشف الحقيقي لقوانين الوراثة. وهذا صحيح تماما، لكن حري أن نرى الاعتراف بأولوية مندل ليس فقط ضربا من السخاء المبرأ من الأنانية، إذ إن وجود ثلاثة أشخاص لكل منهم حق الادعاء بأحقيته في الاكتشاف العام 1900 جعل من مصلحة كل منهم الاعتراف الآن بسلف متوفى الآن بدلا من الدخول في محاجة فيما بينهم حول أيهم هو الأسبق وصاحب الفضل. وثمة درس تاريخي شديد الأهمية هنا يتعين أن نستخلصه من القصة. ذلك أن عديدين توصلوا إلى اكتشافات متماثلة كل على نحو مستقل عن الآخر في نهاية تسعينيات القرن التاسع عشر، ذلك لأن الوقت حان ونضج بالفعل لذلك، كما أن حجر الأساس تم وضعه بعد تحديد النواة واكتشاف الكروموسومات. وحري أن نتذكر أن النواة نفسها تحددت فقط في العام نفسه الذي تليت فيه أمام الجمعية اللينية (Linnean Society) ورقة البحث المشتركة بين داروين ووالاس، وذلك في العام 1858، بينما نتائج إنجازات مندل منشورة في العام 1866، كان بحق إنجازا ملهما، ولكنه سابق لعصره، ولم يحدث التأثير الملائم إلى أن رأى الناس بأم أعينهم «عوامل الوراثة» داخل الخلية، ورأوا طريقة انفصالها وإعادة التحامها لصنع حزم جديدة من المعلومات الجينية أو الوراثية. لكن على الرغم من أن إنجاز مندل، لم يكن له تأثير على الإطلاق على تطور علم البيولوجيا في النصف الثاني من القرن التاسع عشر، فإنه من المهم أن نلقي نظرة عجلى على ما أنجزه، سواء للتصدي لبعض المفاهيم الخاطئة عن الرجل، وكذلك لتأكيد الميزة المهمة حقا لأعماله، التي كثيرا ما يكون مصيرها الإغفال.

لم يكن مندل مجرد بستاني ريفي في ملابس راهب وافاه الحظ. لقد كان عالما متمرسا عرف بالدقة والتحديد ماذا يعمل، وكان من أوائل من طبقوا المناهج الصارمة لعلوم الفيزياء على البيولوجيا. ولد في 22 يوليو 1822 في هينزندورف في مورافيا (التي كانت وقتذاك جزءا من الإمبراطورية النمساوية) وتم تعميده باسم يوهان (وأخذ اسم غريغور عندما التحق بالرهبنة)، وتميز مندل في طفولته بذكاء غير عادي، وإن كان سليل أسرة ريفية فقيرة استنفدت كل مواردها المالية من أجل إرسال

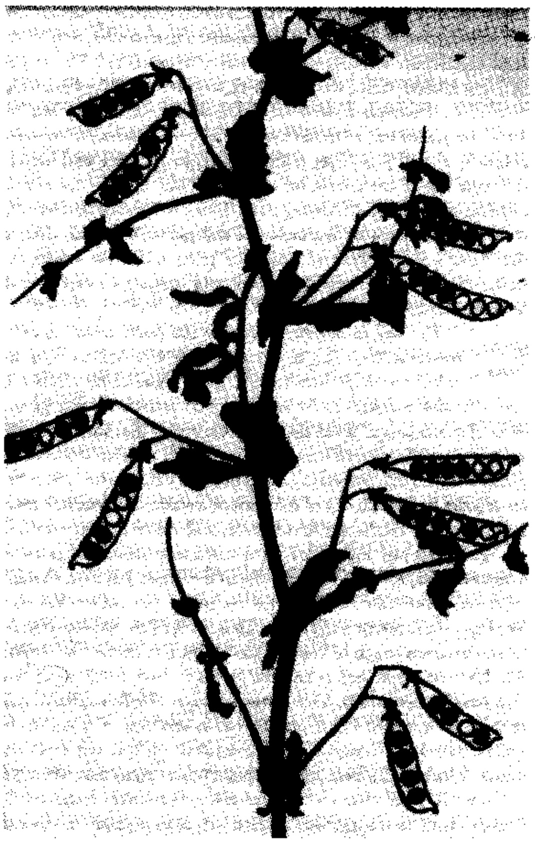
الفتـــى الألمعي لتلقي التعليـــم والوصول إلى المدرســـة الثانوية ثم قضى سنتين دراسيتين لدى المعهد الفلسفي في الموتز بهدف إعداده للجامعة. ونظـــرا إلى أن الجامعة فاقـــت قدراته المالية، فقـــد التحق مندل العام 1843 بالكهنـــوت باعتباره المدخل الوحيد لتحصيـــل المزيد من التعليم، وقد اختاره رئيس دير الرهبان لدير ســـانت تومـــاس في برون. وجدير بالذكر أن رئيس الدير، ويدعى ســـيريل فرانـــز ناب، كان بصدد تحويل الدير إلى مركز فكري رائد، لذا ضم الدير قساوســـة منهم من هو عالم نبات وعالم فلك وفيلســـوف ومؤلف موســـيقى، وحققوا جميعا شـــهرة واســـعة خارج جدران الدير. وكشـــف الأب ناب رئيس الدير عن شـــغفه بـــأن يضاعف من أعداد المفكرين في مجتمعـــه المحلي، وذلك باجتذاب الشـــباب من النبهاء ذوي القدرات المتميزة وليـــس لهم من مطمع آخر، وعرف مندل الذي قدمه له أســـتاذ مندل للفيزياء في أولموتز، الذي كان يعمل في فترة ســـابقة في برون. أكمل مندل دراســـاته اللاهوتية العام 1848، وعمل بمنزلة معلم بديل في المدرســـة الثانويـــة المجاورة ثم بعد ذلك في الكلية الفنية، هذا على الرغم من أنه وبسبب التوترات العصبية في الامتحانات رسب عدة مرات في الامتحانات التي كان من شأنها أن تحدد له وضعه بشكل مادي.



37 – غريغور مندل

كشـــف مندل عن قدرات متميزة حتى إنه فـــي العام 1851، وهو في التاسعة والعشرين من العمر، التحق بجامعة فينا للدراسة هناك، حيث كان كريســـتيان دوبلر أســـتاذا للفيزياء (حتـــي نبين التاريخ في سياق آخر وثيق الصلة بتلك المدينة، نقول إن يوهان شتراوس الأصغر كان في السادســـة والعشرين من العمر العام 1851). وسمح له الدير بسنتين فقط خارج الدير لاغتنام هذه الفرصة المتميزة، لكنه استوعب بنهم خلال هذه الفترة دراســـات عن الفيزيـــاء التجريبية والإحصاء والاحتماليـــة والنظريـــة الذرية فـــي الكيمياء وفســـيولوجيا النبات وغيرها. ولم يحصل على درجة علمية - إذ لم يكن هذا مقصد رئيس الديـــر - لكنه عـــاد إلى برون وقد تهيأ بإمكانات أفضل من الســـابق لأداء دوره معلما. بيد أن هذا لم يشـــف غليله للمعرفة العلمية. وبدأ مندل في العام 1856 دراســـة مكثفـــة لطريقة عمل الوراثة في نبات البازلاء(*)، وأجرى العديد من التجارب الشاقة المجهدة والدقيقة على مدى السنوات السبع التالية، وقادته تجاربه إلى اكتشاف طريقة عمل الوراثـــة. توافرت لـــه قطعة أرض في حديقة الديـــر بمثابة دفيئة أو صوبـــة طولها 35 متـــرا وعرضها 7 أمتار، وخصـــص لها كل أوقات متاحـــة له بعد أن يفـــرغ من التعليم وواجباته الدينية. واشـــتغل على نحو 28.000 نوع من النباتات أخضع منها 12835 لدراسة فاحصة دقيقة. وحدد كل نبات بمنزلة فرد، تتبع ســـلالتها كأنها شجرة عائلية بشـــرية، وهذه طريقة مختلفـــة عن طريقة علمـــاء البيولوجيا الذين اعتـــادوا زراعة أنواع مختلفة جملة ثـــم محاولة التوصل إلى فهم من خلال هذا الخليط من الهجائن الناتجة (أو أنهم قنعوا بدراسة النبات فـــي البرية). معنى هذا، من بين أمور كثيرة، أن مندل عمد إلى تلقيح كل مـــن النباتات التي يجـــري عليها تجاربه بيديه هـــو، ورش اللقاح بنفسه المأخوذ من نبات واحد فرد معروف على أزهار نوع آخر، وثبت بدقة تسجيلاته عن كل ما شاهد.

(*) اختار البازلاء لأنه عرف أن لها خصائص مميزة وأنها نوع نقي أصيل وقابلة للتحليل الإحصائي.



38 - رسم بياني يوضح جانبا من
ورقة البحث التي كتبها مندل عن الوراثة، وتبين نبات البازلاء

قوانين مندل عن الوراثة

مفتاحنا لفهم جهود مندل - وهذه هي النقطة التي يغفلها كثيرون - أنه عمل كباحث فيزيائي يجري تجاربه مرارا وتكرارا، ويخضع النتائج التي يتوصل إليها، وهذا هو الأهم، لدراسة تحليلية وفق مناهج إحصائية سليمة، وهذه هي الطريقة التي تعلمها في فيينا. وكشفت جهوده عن وجود شيء ما في النبات هو الذي يحدد خواص شكله إجمالا. ولنا أن نسمي هذه الشيء باسمه الحديث، وهو «الجينة». وتظهر الجينات مثنى، لهذا (كما يفيد أحد الأمثلة التي درسها مندل) نجد جينة S التي تفضي إلى بذور ناعمة، وجينة R التي تعطي بذورا خشنة. ولكن أي نبات مفرد سوف يحمل توليفة من التوليفات الممكنة SS أو RR أو SR، لكن واحدة فقط من الجينات هي التي تكشف عن نفسها في النبات الفرد (في الفينوتايب Phenotype أو النمط الظاهري). وإذا كان النبات يحمل RR أوSS، فلا خيار أمامه سوى استخدام الجينة الملائمة لإنتاج بذور خشنة أو ملساء. ولكن إذا كان يحمل

مركب RS فإن لنا أن نتوقع نصف النبات له بذور خشنة والنصف الآخر بذور ناعمة. ولكن ليس الأمر كذلك. إذ إن R تتوارى بينما S هي التي تظهر في النمط الظاهري. ويقال في هذه الحالة إن S مهيمنة بينما R متنحية Recessive، أي عقيم. توصل مندل إلى كل هذا من خلال الإحصاء الذي يبدأ في هذه الحالة من المشاهدة حيث أن نباتات RR (أي النباتات من فصيلة تنتج دائما بذورا خشنة) مطعمة بنباتات SS (من فصيلة تنتج بذورا ملساء) وأن 75 بالمائة من الذرية لها بذور ملساء و25 بالمائة بذور خشنة. والسبب بطبيعة الحال هو وجود وسيلتين لعمل ذرية RS (SR - RS) وكلتاهما متكافئتان. ولهذا فإن الأفراد في الجيل التالي يوزعون بالتساوي بين أربعة أنماط جينية RR, RS, SR, SS والتي منها RR فقط تنتج بذورا خشنة. هذا هو أبسط مثال (والذي ينصب فقط على الجيل الأول، بينما مندل مضى بالبحث الإحصائي إلى أبعد حتى مما يمكن أن تسميه جيل الأحفاد أو الجيل الثالث، لنوع الدراسة التحليلية التي استخدمها مندل في دراسته واستخدمها من بعده فرايس وباتسون وكورينس وفون سيزينيج وكثيرون غيرهم). وبين مندل بحسم أن الوراثة لا تعمل عن طريق مزج الخصائص المأخوذة عن الوالدين بل باكتساب خصائص فردية عن كل منهما. وكان واضحا في العقد الأول من القرن العشرين (وبفضل جهود باحثين من مثل وليام ستن بجامعة كولومبيا) أن الكروموسومات تحمل الجينات، وأن الكروموسومات تأتي مثنى، بحيث كل واحدة موروثة عن أحد الأبوين. ونلاحظ في الانقسام الخلوي من النوع الذي يصنع خلايا جنسية أن هذه الأزواج منفصلة ولكن فقط (كما نعرف الآن) بعد اقتطاع قدر من المادة من الكروموسومات المثاني وتبادلها أو مقايضتها بين الاثنين، بحيث تتكون توليفات جديدة من الجينات تنتقل إلى الجيل التالي.

وعرض مندل اكتشافاته العام 1865 على جمعية العلم الطبيعي في برون التي لم تكن مستوعبة للأمر إلى حد كبير (إذ إن عددا محدودا فقط من علماء البيولوجيا هم من لديهم فهم للبحث الإحصائي في تلك الأيام)، وكان مندل آنذاك في الثانية والأربعين من العمر. وأرسلت الجمعية أوراق البحث إلى باحثين بيولوجيين آخرين ممن سبق أن تراسل معهم مندل،

ولكـــن لم تكن أهميتهم العلمية موضع تقدير آنذاك. وربما كان لزاما على مندل أن يروج لعمله بقوة ونشـــاط أكثر لكي تحظى أعماله باهتمام أكبر، ولكن توفي ســـيريل فرانز العـــام 1868، وتم انتخاب غريغور يوهان مندل رئيســـا للدير مكانه. وهكذا لم تهيئ له مهامه الجديدة ســـوى وقت ضئيل للعلـــم، وطـــرح جانبا برنامجه لإنتاج ســـلالات نباتية جديـــدة بعد أن بلغ السادسة والأربعين، على الرغم من أنه عاش حتى 6 يناير عام 1884م.

وتمثل إعادة اكتشـــاف قوانين مندل للوراثة مع مطلع القرن العشـــرين، علاوة على تحديد الكروموســـومات، المفاتيح الأساســـية لفهم كيفية حدوث التطور على المســـتوى الجزيئي. وجاءت الخطوة الثانيـــة الكبيرة على يدي الأمريكـــي توماس هنت مورغان، المولود في لكســـنغتون في كنتاكي يوم 25 ســـبتمبر 1866، وعمل مورغان أستاذا لعلم الحيوان بجامعة كولومبيا العام 1904، ويعتبر مورغان ســـليل أسرة متميزة، إذ إن أحد أجداده هو فرنسيس ســـكوت كي، الذي ألف الســـلام الوطني للولايات المتحدة، وعمل أبوه لفترة من الوقت قنصلا للولايات المتحدة في مسينا في صقلية، وكان أحد أعمامه ضابطـــا في الجيش الفيدرالي. وأبدى مورغان شـــكوكا إزاء كل عمل مندل بشـــأن الوراثة، الذي رأى أنه يستند إلى فكرة «عوامل» افتراضية تنتقل من جيل إلى جيل. ونجد في هذا النهج صدى لأسلوب روبرت ميليكان وشكوكه إزاء أفكار آينشـــتاين فيمـــا يتعلق بالأثر الكهروضوئـــي (وها نحن نرى هنا مثالا ســـاطعا لكيفية عمل المنهج العلمي). لم يقتنـــع مورغان بإمكان وجود هذه العوامل وأن تحملها الكروموســـومات، لذلك شرع في إجراء سلسلة من التجارب والتي ســـتقوده إلى الفوز بجائزة نوبل (لعام 1933)، وأجرى هذه التجارب على أمل إثبات أن القوانين البسيطة التي اكتشفها مندل هي على أحســـن الفروض حالـــة خاصة تنطبق فقط على عـــدد محدود من خواص نباتات بذاتها، ولا تنطبق بشكل العام على عالم الحياة.

دراسة الكروموسومات

الكائـــن الحي الـــذي اختاره مورغان ليكون موضوع دراســـته هو ذبابة الفاكهة ذات الحجم الصغير المســـماة دروســـفيلا (Drosophila)، ومعنى

الاســـم «عاشـــقة الندى»، وإن كانت عمليا تعشـــق الزبـــد المختمر، وليس النـــدى، فالزبد المختمر هو الذي يســـتهويها ويجذبها لكي تصيب الفاكهة بالعفـــن، وثمة صعوبات واضحة تواجه من يعمل على دراســـة الحشـــرات دون النباتـــات، غير أن ذبابة الفاكهة لها ميزة كبرى تفيد دارســـي الوراثة. إذ بينما كان مندل مضطرا للانتظار ســـنة كاملة لفحص الجيل التالي من البازلاء عند كل مرحلة في برنامج اســـتنبات سلالات جديدة فإن الذباب الصغيـــر (طول الواحدة منها ثمن بوصة) ينتج جيلا جديدا كل أســـبوعين حيث تضع الأنثى مئات البيض في كل مرة. وفي ضربة حظ خالصة، تبين أن دروســـفيلا، أي ذبابة الفاكهة، لها فقط أربعة أزواج من الكروموسومات مما يسر كثيرا من عملية البحث التي يجريها مورغان لمعرفة كيفية انتقال الخصائص من جيل إلى الجيل التالي(*).

وأن زوجا من هذه الكروموســـومات له أهميـــة خاصة، كما هو الحال في جميع الأنواع التي تتكاثر جنســـيا. وعلى الرغم من أن الكروموسومات المفردة في غالبية الأزواج متماثلة من حيث الشـــكل الظاهري، فإن الزوج الذي يحدد الجنس به فارق مميز من حيث شـــكل هذه الكروموســـومات، وتأسيســـا على هذه الأشـــكال أصبحت معروفة بالحرفين X وY، ومن ثم لنا أن نتصور ثلاثة توليفات محتملة يمكن أن تحدث في فرد بذاته، وهذه هـــي XX، وYX، وYY، لكن الملاحظ أن خلايا الإناث تحمل دائما زوجا XX، بينمـــا توليفـــة الذكور هـــي XY(**)، لذلك يتعـــين أن يرث كل فرد جديـــد كروموســـوم X من الأم، ويمكن أن يرث إمـــا X أو Y من الأب، إذا حـــدث وورث X من الأب فإنه ســـيكون أنثى، وإذا ورث Y ســـيكون ذكرا. الفكـــرة المهمة الناتجة عن هذا كله أن مورغان اكتشـــف تغيرا في الذباب بـــين ذباب الفاكهة موضوع الدراســـة، حيث بعضها لـــه عيون بيضاء بدلا مـــن العيون الحمراء العادية. وكشـــف برنامج الاســـتيلاد، بكل ما فيه من دقـــة، وكذا التحليل الإحصائـــي لهذه النتائج، أن الجينـــة (وهو المصطلح

(*) البشـــر لهم 23 زوجا من الكروموســـومات، لكن لا توجد علاقة بســـيطة بين تعقد النمط الظاهري «الفينوتيب» وعدد الكروموسومات، وبعض نباتات السرخس بها أكثر من 300 زوج من الكروموسومات في كل خلية.

(**) ينعكس النمط في أنواع محدودة، وتوجد حالات شاذة أخرى، لكن هذا ليس مهما هنا.

الذي تبناه مورغان وروج له) تؤثر في لون عيني الحشـــرة وأن هذه الجينة تحملها بالضرورة كرموسومة X، وأنها متنحية، أي عقيم غير مؤثرة. وإذا كانت الجينة المختلفة في الذكور (تعرف التصنيفات المختلفة لجينة بذاتها بالأليـــلات Alleles) موجودة على الكروموســـومة X المفـــردة، فإن عيون الذبابـــة تكون بيضاء. لكـــن الأليلة ذات الصلة في الإنـــاث لا بد أن تكون على كل من كروموسومات X حتى تظهر خاصية العين البيضاء في النمط الظاهري «الفينوتيب».

شجعت هذه النتيجة الأولية مورغان على مواصلة العمل خلال العقد الثانـــي من القرن العشـــرين، وتعاون معه فريق مـــن الطلاب الباحثين. وأكد هذا العمل أن الكروموســـومات تحمل مجموعة من الجينات أشبه بحبـــات خرز ممدودة على طول قطعة من الســـلك، وأوضحت أيضا أنه خـــلال عملية إنتـــاج خلايا الحيـــوان المنوي أو البويضة، تنقســـم أزواج الكروموسومات إلى جزأين، لتعاود الالتحام ثانية وتنتج عنها توليفة من الأليلات. ونلحظ أن الجينات المتباعدة داخل الكروموســـوم سوف تظل على الأرجح منفصلة بعضها عن بعض عند حدوث عملية التبادل وإعادة التجميع، بينمـــا الجينات المتلاصقة في الكروموســـوم نادرا ما تنفصل بعضهـــا عن بعض وتتباعد، هيأ هذا الجهد الكثيف والشـــاق الأســـاس لرســـم خارطة توضح ترتيب ونظام الجينات على امتداد الكروموسوم. وطبيعي أنه كان لايزال هناك قدر كبير جدا من العمل اللازم إنجازه من هذا النوع باســـتخدام التكنولوجيا المحسنة والتي توافرت في فترة تالية خلال القرن العشـــرين، فإن الوقت الذي شهد نضج حزمة نتائج الوراثة وعلـــم الوراثـــة وفق منهج منـــدل يمكن تحديده بالعام 1915، إذ نشـــر مورغان وزملاؤه إيه. إتش. ســـتورتيفانت، وســـي. بي. بريدجز، وإتش. جيه. موللر كتابهم الكلاسيكي المعنون «آلية الوراثة عند مندل». وواصل مورغـــان وحده ليؤلف كتاب «نظرية الجينـــة» (1926)، وانتقل مورغان إلـــى كالتيك (معهد كاليفورنيا للتكنولوجيـــا) العام 1928، وحصل على جائـــزة نوبل العام 1933 وتوفي في كورونـــا ديل مار في كاليفورنيا يوم الرابع من ديسمبر العام 1945م.

إن التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي لا يكون إلا مع توافر أنواع مختلفة من الأفراد للانتقاء من بينهم. لذلك كان من المهم الفهم الذي نما وتطور على أيادي مورغان وزملائه، إذ بينوا كيف أن عملية إعادة الترتيب للإمكانيات الجينية التي تهيئها عملية التناسل تشجع على التنوع، وفسر ذلك الفهم أيضا لماذا من اليسير على الأنواع التي تتكاثر جنسيا أن تتكيف مع الظروف البيئية المتغيرة. نعم إن الأنواع التي لا تتناسل جنسيا تتطور أيضا، ولكن ببطء شديد للغاية. مثال ذلك أن لدى البشر حوالي 30.000 جينة هي التي تحدد النمط الظاهري «الفينوتيب». وأن أكثر من 93 بالمائة من هذه الجينات جنسية homozygous، أي متجانسة الأزواج، بما يعني أنها واحدة ومتطابقة على كل كروموسوم من الزوج ذي الصلة في جميع البشر. ولكن أقل من 7 بالمائة فقط متغايرة الازدواج heterozygous، بمعنى أن هناك فرصة لوجود أليلات مختلفة لتلك الجينة الخاصة على الكروموسومات الازدواجية لشخص فرد يتم اختياره عشوائيا. ولقد ظهرت هذه الأليلات المختلفة بفعل عملية التغير البنائي، أي الطفرة، التي سنعرض لها بتفصيل أكثر فيما بعد، وتستقر داخل المستودع الجيني gene poal، ويكون لها تأثير ضعيف ما لم تحقق فائده ما للفينوتيب (الطفرات التي تتسبب في أذي تختفي سريعا، وهذا هو ما يعنيه الانتخاب الطبيعي). وثمة حوالي 2000 زوج من الجينات تكون في نوعين على الأقل متغايرين (بعضها به أكثر من اثنتين من الأليلات)، معنى هذا أن اثنين مضافة إلى قوة تكبير 2000 طريقة (أي 2^{2000} طريقة) متاحة، حيث كل فردين اثنين من البشر يمكن أن يختلف أحدهما عن الآخر. وهذا عدد هائل للغاية، حتى أن الأعداد الفلكية تتضاءل أمامها (مثل الأعداد التي سنعرض لها في الفصل التالي)، ويعني هذا أيضا ليس فقط أنه لا يوجد شخصان اثنان من البشر على وجه الأرض متطابقان جينيا (فيما عدا التوائم الذين يشتركون في نمط جيني واحد لأنهما من بويضة مخصبة واحدة)، بل ويعني أيضا أنه لا يوجد شخصان عاشا يوما ما ولهما «الجينوتايب» أي النمط الجيني نفسه بالدقة والتحديد، وهذا مؤشر على التنوع الذي يعمل فيه ومن خلاله الانتخاب الطبيعي. وتزايد باطراد بعد العام 1915 وضوح

وفهم طبيعة الكروموسومات والجنس وإعادة التوليف الجيني والوراثة، وهنا كان السؤال المهم والكبير: ما الذي حدث عند المستوى الأعمق داخل النواة وداخل الكروموسومات نفسها. وتتبنى طريقة الإجابة عن السؤال على أحدث التطورات في فيزياء الكوانتم والكيمياء حيث يعكف العلماء على سبر أسرار الحياة عند المستوى الجزيئي، ولكن الخطوات الأولى على الطريق للوصول إلى لولب الدنا helix تم اتخاذها بأسلوب عتيق منذ أكثر من نصف قرن مضى.

الحمض النووي

أول من خطا تلك الخطوات الأولى هو عالم الكيمياء السويسري فريدريك ميشر (1844-1895). عمل أبوه (واسمه أيضا فريدريك) أستاذا للتشريح والفسيولوجيا في بازل من العام 1837 حتى العام 1844، قبل أن ينتقل إلى برن، بينما خال فريدريك الشاب ويدعى ولهيلم هيس (1831-1904)، شغل الكرسي نفسه من 1857 حتى 1872، وتمتع هيس بتأثير كبير بشكل خاص على ابن أخته الذي يصغره بثلاث عشرة سنة، والذي درس الطب في بازل قبل الالتحاق بجامعة توبنغن، حيث درس الكيمياء العضوية على يدي فيليكس هوب - سيلر (1825-1895) من العام 1868 إلى 1869، ثم قضى فترة في ليبزيغ قبل أن يعود أدراجه إلى بازل. وعندما انتقل هيس إلى طريق آخر في العام 1872، إذ ترك بازل إلى ليبزيغ، قسمت الجامعة الكرسي إلى اثنين، أحدهما للتشريح والآخر للفسيولوجيا، وحصل الشاب ميشر على كرسي الفسيولوجيا، الأمر الذي ينطوي جزئيا على مشاعر الحنين. وبقي في منصبه حتى وافته المنية بسبب مرض السل يوم 16 أغسطس 1895، بعد ثلاثة أيام فقط من ذكرى ميلاده الحادية والخمسين.

وقصد ميشر جامعة توبنغن للعمل فيها بسبب اهتمامه بدراسة بنية الخلية (وهو اهتمام شجعه عليه خاله، فضلا عن أنه فرع يشكل تيارا مهما في مجال البحث البيولوجي في تلك الفترة)، وكان هوب - سيلر قد فرغ من تأسيس أول معمل مخصص لما نسميه اليوم الكيمياء الحيوية، لكنه

علاوة على ذلك عمل مساعدا سابقا لردولف فيرشو، الذي استولى عليه اهتمام الكشف عن كيفية عمل الخلايا، وحري أن نتذكر أن فيرشو هو صاحب المبدأ القائل إن الخلايا الحية تخلقها خلايا حية أخرى، وذلك قبل عشر سنوات من وصول ميشر إلى توبنغن. وبعد أن أجري ميشر حوارا مع هوب - سيلر بشأن الإمكانات المتاحة لمشروع بحثه الأول، استقر على بحث خلايا الدم البيضاء لدى البشر، أي الكريات البيضاء. وهذا البحث له ميزة كبرى من الناحية العملية، إن لم نقل ذلك أيضا من وجهة نظر جمالية، ذلك أنه متاح بكميات كبيرة في الأربطة المشبعة بالصديد التي يمكن توفيرها من عيادة مجاورة متخصصة في الجراحة. وكان معروفا أن البروتينات أهم المواد البنيوية في الجسم، ومن ثم انعقد الأمل على أن البحث الذي سوف يجريه ميشر سيحدد البروتينات التي تحتويها كيمياء الخلية، والتي هي مفتاح الحياة. وأمكن التغلب على الصعاب من أجل الحصول على خلايا سليمة من الأربطة دون تدمير، وبدأ بعد ذلك إخضاعها للتحليل الكيميائي، وسرعان ما اكتشف ميشر أن السيتوبلازما المائية أو الحشوة المائية التي تملأ الخلية خارج النواة غنية بالبروتينات، لكن المزيد من الدراسة أوضح وجود شيء ما آخر في الخلية أيضا. عمد ميشر إلى إزالة كل المادة الخارجية، كما جمع عددا كبيرا من النويات السليمة الخالية من السيتوبلازما (عمل لم يسبقه إليه أحد)، واستطاع بعد ذلك تحليل البنية التي تتكون منها النواة، وتبين له أنها مختلفة اختلافا كبيرا عن البروتين. وسمى هذه المادة نوكلين «النووين» (Nuclein)، وتحتوي على كمية كبيرة من الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين، مثلها مثل الجزيئات العضوية الأخرى، لكنه اكتشف أيضا أنها تحتوي على كمية مهمة من الفوسفور، على خلاف أي بروتين. وبحلول صيف العام 1869، أكد ميشر أن المادة الجديدة مستمدة من نويات الخلايا، وأنه وجدها ليس فقط في الكريات البيضاء في الصديد بل في خلايا الخميرة وفي الكلية وكرات الدم الحمراء وغيرها من الأنسجة.

لكن الأنباء عن اكتشاف ميشر لم تحدث الإثارة المتوقعة، احتاج الأمر في الحقيقة إلى مرور وقت طويل إلى أن علم أي إنسان آخر بالأمر خارج

معمل هوب - سيلر. وفي خريف العام 1869 انتقل ميشر إلى ليبزيغ حيث سجل اكتشافاته كتابة وأعادها إلى توبنغن لنشرها في صحيفة كان هوب - سيلر يرأس تحريرها. ولكن هوب - سيلر وجد أن من العسير عليه تصديق النتائج، وانتظر بعض الوقت إلى حين يجري اثنان من تلامذته تجارب تؤكد الاكتشاف، اندلعت الحرب الفرنسية - البروسية في يوليو 1870، وتأخر النشر في الصحيفة بسبب حالة الفوضى العامة التي تسببت فيها الحرب. وظهر البحث مطبوعا بعد ذلك في ربيع العام 1871، ومعه العمل الذي يؤكد صدق نتائج ميشر علاوة على مذكرة من هوب - سيلر توضح أن النشر تأخر بسبب ظروف خارجة عن الإرادة. وواصل ميشر دراسته للنوكلين (النووين) بعد أن أصبح أستاذا في بازل، وركز جهده على تحليل خلايا الحيوان المنوي لسمك السلمون. ونعرف أن خلية الحيوان المنوي تكاد تكون كلها نواة مع أثر ضئيل من السيتوبلازما، نظرا إلى أن هدفها الوحيد هو الالتحام بنواة خلية البويضة الممنوحة الأكثر غنى والتي تسهم بالمادة الوراثية للجيل التالي. وينتج سمك السلمون كميات هائلة من الحيوان المنوي، والذي يزداد تحولا أثناء الرحلة إلى مناطق الفقس أو وضع البيض، حيث يتحول نسيج الجسد إلى هذه المادة التناسلية. وأوضح ميشر أن البروتينات البنيوية Structural Proteins المستمدة من الجسم لا بد أن تنحل وتتحول إلى حيوان منوي بهذه الطريقة. ويمثل هذا تأكيدا مهما بأن أجزاء مختلفة من الجسم يمكن أن تتحلل ويعاد بناؤها في صورة مغايرة. واكتشف أثناء هذا العمل أن النوكلين (النووين) هو جزيء ضخم يحتوي على عديد من المجموعات الحمضية، وهنا أضاف ريتشارد التمان، أحد تلامذة ميشر في العام 1889، مصطلح «الحمض النووي» في إشارة إلى الجزيئات. ولكن ميشر وافته المنية دون أن يعرف الصورة الكاملة لأهمية ما اكتشفه.

لم يدرك ميشر، شأن زملائه المشتغلين بالكيمياء الحيوية، أن النوكلين (النووين) يمكن أن يكون الحامل للمعلومات الوراثية. لقد كانت قريبة الشبه جدا بالجزيئات لكي نرى الصورة الكلية للخلية أثناء عملها، وساعد اعتقاد بأن هذه الجزيئات البسيطة نسبيا هي نوع من المادة

البنائية، ربمـــا بمنزلة حامل أو دعامة لبنيان مــن البروتين الأكثر تعقدا. ولكن علماء البيولوجيا، وقد تسلحوا بتقنيات الصبغ الجديدة التي كشفت عن الكروموســومات، أمكنهم عمليا أن يروا كيفية اقتســـام المادة الوراثية (الجينية) عند انقسام الخلايا. وأدركوا بسرعة أكبر أهمية النوكلين. وفي العام 1885، كتب أوســكار هرتويغ أن «النوكلين هو المادة المســؤولة ليس فقــط عن التخصيب، بل أيضا عن انتقال الخصائــص الوراثية»(*). هذا بينمـــا كتب عالـــم البيولوجيا الأمريكي ادموند ويلســـون (1856-1939) بصورة أكثرة تفصيلا في كتاب صدر العام 1896(**) ما يلي:

> يجب اعتبـــار الكروماتـــين (المادة الصبغية) الأســـاس الفيزيائي للوراثة. ونعرف الآن أن الكروماتين يشـــبه تماما، إن لم يطابق، مادة معروفة باسم نوكلين... وهو مركب محدد أساســا من الحمض النووي (حمض عضـــوي مركب غني بالفوسفور) والزلال. وهكذا توصلنا إلى نتيجة مهمة، وهي أن الوراثـــة يمكن، على الأرجح، أن تحـــدث نتيجة الانتقال الفيزيقي لمركب بذاته من الأبوين إلى الذرية.

ولكن كان الطريق شـــاقا للغاية قبـــل أن تتأكد النتيجة المثيرة التي قال بها ويلسون.

العمل على الطريق إلى الدنا (DNA) والرنا (RNA)

اعتمد التقدم على امتداد هذا الطريق على تحديد بنية النوكلين (النووين)، ولبنات البناء الأســاســية للجزيئات ذات الصلـــة (وإن لم يتم حتى الآن تحديد تفاصيل كيفية تلاحم لبنات البناء معا)، وقد تحدد كل هذا خلال بضع ســنين بعد وفاة ميشـــر، بل وتحـــدد بعضها قبل الوفاة. إن لبنة البناء المســماة الدنا DNA هي الرايبوز Ribose، وهو نوع من الســكر تتألف بنيته الأســاســية من أربـــع ذرات من الكربون مرتبطة بذرة من الأكســجين في حلقة خماســية مع

(*) Jenaische Zeitschrift fur Medizin und Naturwizzenschaft, Volume 18, p. 276.

(**) العنـــوان: «الخلية في النمو والوراثـــة» The Cell in Development and inheritance. كان ويلســـون أســـتاذا لعلم الحيوان بجامعة كولومبيا ورئيس القسم الذي أجرى فيه مورغان تجاربه على ذبابة الفاكهة.

ذرات أخرى (وبخاصة أزواج من الهيدروجين - الأكسجين OH) ملحقة بها عند الزوايا. ويمكن إبدال هذه الملحقات بجزيئات أخرى مع ربطها بوحدات الرايبوز. واللبنة البنائية الثانية، والملحقة بالطريقة نفسها، هي مجموعة جزيئية تحتوي على الفوسفور، وتعرف باسم مجموعة فوسفات Phosphate group، ونحن نعرف الآن أن مجموعات فوسفات هذه تعمل كحلقات بين خماسيات الرايبوز Ribos Pentagons داخل سلسلة متبادلة. ولبنة البناء الثالثة والأخيرة تظهر في خمسة أشكال تسمى «قواعد» (bases) ومعروفة بأسماء الغوانين (guanine) والأدينين (adenines) والسيتوسين (cytocine) والثيمين (thymine) واليوراسيل (uracil)، ويشار إليها عادة توخيا للتبسيط بالأحرف الأولى فقط G, A, C, T, U، وترتبط إحدى هذه القواعد المكتشفة فيما بعد بكل من حلقات السكر في السلسلة، ملتصقة بجانبها. ويأخذ الجزيء الكامل اسمه من خماسية الرايبوز، إذ يقال الحمص الرايبونووي Ribonucleic، واختصارا RNA، وثمة نمط يكاد يطابق تماما الجزيء (والذي تحدد فقط في أواخر عشرينيات القرن العشرين)، فيه كل وحدة من وحدات السكر بها ذرة أكسجين أقل (H بينما الرايبوز به OH) ويسمى حمض دي أوكسي ريبو النووي Deoxyribonucleic واختصارا DNA، الفارق الثاني بين الرنا والدنا يتمثل في أنه على الرغم من أن كلا منهما يحتوي فقط على أربع من القواعد، فإن الرنا يحتوي على G, A, C, U، بينما يحتوي الدنا على G, A, C, T. إن هذا الاكتشاف هو الذي عزز فكرة أن النوكلين (النووين) ليس أكثر من جزيء بنيوي، ومن ثم أوقف التطور الصحيح لفهم دوره في الوراثة.

فرض رباعي النيوكليوتيد

الشخص المسؤول أكثر من غيره عن هذا الفهم الخاطئ هو الأمريكي المولود في روسيا فيبس ليفين (1869 - 1940)، والعضو المؤسس لمعهد روكفلر في نيويورك العام 1905، وقد مكث هناك بقية حياته العملية. أدى ليفين دورا رائدا في تحديد طريقة ترابط اللبنات البنائية للرنا، وهو أيضا الشخص الذي حدد عمليا الدنا ذاتها في العام 1929، لكنه وقع في خطأ أسبابه مفهومة، والذي كان له، للأسف، تأثير واسع بحكم ما له من مكانة

ونفوذ كعالم رائد في الكيميـاء الحيوية. وجدير بالذكر أنه عند ميلاد ليفين (في العام نفسـه الذي اكتشف فيه ميشـر النوكلين) في بلدة صغيرة اسمها ساجور، اتخذت له الأسرة الاسم اليهودي فيشل، الذي تغير بعد ذلك إلى اسم روسـي فيودور عندما انتقلت الأسرة إلى سـانت بطرسبيرغ وهو في الثانية من عمره. وهاجرت الأسـرة إلى الولايات المتحدة العام 1891، هربا من آخر المذابح ضد اليهود، وغير اسمه في الولايات المتحدة إلى فيبس، بسبب اعتقاد خاطئ أن هذا الاسـم هو المكافئ الإنجليزي، واكتشـف بمرور الوقت أن كان عليه أن يختار تيودور، ولكن تبين ألا حاجة لتغيير الاسم ثانية. وحدث الخطأ غير المقصود من ليفين نتيجة تحليل كميات كبيرة نسبيا من الحمض النووي. وعنـد تحلله إلى لبنات البناء التي يتكون منها لتحليلها، تبين أنها تحتوي على كميات متسـاوية تقريبا من G, A, C, U (خلايا الخميرة المستخدمة في هذا العمل أعطت رنا). وأدى هذا إلى اسـتنتاج أن الحمض النووي بنية بسـيطة مؤلفـة من أربع وحدات متكررة يرتبط بعضها ببعض بالطريقة التي أسـلفنا وصفها، وأكثر من هذا بدا ممكنا أن جزيئا واحدا من الرنا يحتوي على واحد فقط من كل من القواعد الأربعة. وأصبحت هذه الحزمة من الأفكار معروفة باسـم فرض رباعي النيوكليوتيد(*)، لكـن بدلا من معاملتها باعتبارها فرضا يتعين اختباره جيدا، أضيفت عليها مكانة العقيدة «الدوغما»، وأضحت موضع قبول دون سـؤال من جانب كثيرين من معاصري ليفين وخلفائه المباشـرين. وبمـا أننا نعرف أن البروتينات جزيئات شـديدة التعقيـد ومؤلفة من أعداد كبيرة متباينة من الأحماض الأمينية المترابطة بأسـاليب مختلفة، فقد عززت هـذه المعرفـة فكرة أن جميـع المعلومات المهمة في الخليـة موجودة في بنية البروتينات، وأن الأحماض النووية تهيئ بنية داعمة بسـيطة تثبت البروتينات فـي مكانها. وتبين أن هناك معلومات ضئيلة جدا في «رسـالة» تحتوي فقط على كلمة واحدة، GACU، تتكرر إلى ما لا نهاية. ومع ذلك، فقد بدأ مع نهاية عشـرينيات القرن ميلاد دليل سـوف يفضي بنا إلى فهم أن الحمض النووي له دور أكثر من كونه مجرد دعامة. وبدت أول علامة دالة على ذلك في العام 1928، قبل عام واحد من الوقت الذي حدد فيه ليفين بشكل نهائي الدنا.

(*) The Tetranucleotide hypothesis.

جاء مفتاح المشكلة من خلال جهود فريد غريفيث (1881-1941)، وهو باحث مايكروبيولوجيا بريطاني يعمل ضابطا طبيا لوزارة الصحة في لندن. عكف على بحث البكتيريا المسببة للالتهاب الرئوي دون أن تكون لديه أي نية للبحث عن أي حقائق أعمق تخص الوراثة. ولكن مثلما أن ذباب الفاكهة يتكاثر بأسرع من نبات البازلاء، وبالتالي يمكنه أن يكشف لنا في ظروف معينة وبسرعة كبيرة كيف تحدث الوراثة، كذلك الحال بالنسبة إلى الكائنات الحية (المتعضيات) المجهرية من مثل البكتيريا التي يمكنها أن تتكاثر بسرعة وبأسرع من ذباب الفاكهة وتنتقل إلى أجيال كثيرة خلال ساعات، ويمكنها أن تبين لنا في أسابيع نوع التغيرات التي لا يمكن أن تتكشف لنا إلا بعد سنوات عمل مع ذباب الفاكهة. واكتشف غريفيث وجود نوعين من بكتيريا المكورات الرئوية، أحدهما خبيث ويسبب مرضا قاتلا في غالب الأحيان، بينما الآخر يتسبب في حدوث آثار مرضية بسيطة، أو لا شيء على الإطلاق. وأجرى تجارب على الفئران بهدف الحصول على معلومات يمكن أن تساعد في علاج الالتهاب الرئوي عند البشر، واكتشف غريفيث أن الشكل الخطير من المكورات الرئوية يمكن القضاء عليه بالحرارة أو التسخين، وأن بالإمكان حقن هذه البكتيريا الميتة للفئران دون أي آثار مرضية. ولكن عند مزج البكتيريا الميتة ببكتيريا من النوع غير القاتل من المكورات الرئوية، أصبح المزيج ضارا بالفئران بقدر ضرر سلالة المكورات الرئوية الخبيثة النقية وهي حية. ولم يكتشف غريفيث نفسه كيف حدث هذا، ووافته المنية قبل أن تتكشف له أهمية عمله (إذ لقي مصرعه في غارة جوية نازية)، بيد أن هذا الاكتشاف حفز باحث المايكروبيولوجيا الأمريكي أوزوالد أفيري (1877-1955) على تغيير الاتجاه، وقد كان متفرغا لدراسة الالتهاب الرئوي في معهد روكفلر في نيويورك منذ العام 1913م.

وخلال ثلاثينيات وكذا أربعينيات القرن العشرين، عكف أفيري وفريق العمل معه على بحث الطريقة التي يمكن بها أن يتحول شكل من المكورات الرئوية إلى الشكل الآخر في سلسلة طويلة من التجارب التي اتصفت بالدقة والحذر. أعادوا أول الأمر تجارب غريفيث، ثم عمدوا إلى تنمية مجموعة من المكورات الرئوية غير الضارة في صحن زجاجي معياري (يسمى صحن

بتري A Petri dish) يحتوي أيضا على خلايا ميتة بعد التسخين من السلالة الضارة، ووجدوا أن هذا كاف لتحويل المجموعة الموجودة في المزرعة إلى الشكل الضار. تبين أن شيئا ما ينتقل من الخلايا الميتة إلى المكورات الرئوية الحية، وتجسد في بنيتها الجينية، وأدى إلى تحولها. ولكن ما هذا الشيء؟ تمثلت الخطوة التالية في تفكيك الخلايا بعضها عن بعض عن طريق عملية تبادلية متكررة بين التجميد والتسخين، ثم استخدام قوة طرد مركزية لفصل البقايا الصلبة والسائلة المتخلفة. وتبين أن العامل المسبب للتحول، أيا كان هو، موجود في الجزء السائل، وليس في المواد الصلبة غير القابلة للانحلال. وهكذا تحدد نطاق البحث في إطار ضيق. وأدى كل هذا العمل إلى انشغال كل العاملين في المعمل مع أفيري حتى منتصف الثلاثينيات. وعند هذا الحد قرر أفيري، الذي اكتفى في السابق بالإشراف على العمل في المعمل دون المشاركة فيه بشكل مباشر، أن يشن هجوما حاسما لتحديد العامل المسبب للتحول. ونهض بهذا الهجوم بمساعدة اثنين من شباب الباحثين هما كولين ماكليود (1909-1972) الكندي المولد، وماكلين مكارتي (1911 -) ابتداء من العام 1940 من ساوث بيند في أنديانا.

وامتد العمل إلى العام 1944 حتى تسنى لكل من أفيري وماكليود ومكارتي كتابة بحثهم النهائي الذي حددوا فيه المادة الكيميائية المسؤولة عن التحول الذي شاهده غريفيث لأول مرة العام 1928، وطال الزمن بهم لأسباب عدة، منها إصرار أفيري على الالتزام بالدقة مهما كلفه هذا من مشقة، وأيضا بسبب حالة الاضطراب العامة التي سببتها الحرب العالمية الثانية، ثم ثالثا لأن ما اكتشفوه كان مذهلا جدا حتى بدا لهم من الصعب تصديقه(*). وبرهنوا على أن المادة المتسببة في التحول هي الدنا، وليست بروتين كما كان الظن السائد. ولكن حتى في ورقة البحث المكتوبة العام 1944، لم يستطردوا لتحديد الدنا بأنها المادة الجينية، على الرغم من أن أفيري، البالغ الآن 67 عاما (وهذا عمر لافت للأنظار بالنسبة لشخص ينخرط بهمة في مثل هذا البحث العلمي الأساسي) عهد بالأمر جملة إلى أخيه روي.

(*) جاء هذا ضربة قاضية لفرض رباعي النيوكليوتيد، وقد كان ليفين شخصية مؤثرة وشامخة في معهد روكفلر حتى وافته المنية العام 1940م.

قواعد شارغاف

ومـــع ذلك وضحت الدلالات لكل ذي عينين ليرى، وانتقلت الشـــعلة للمرة الثانيـــة، والمتمثلة في نشـــر ورقة بحـــث أفيري وماكليـــود ومكارتي في العام 1944، مما حفز النشر الخطوة الرئيسية التالية التي خطاها أروين شارغاف (1905 -) (*). ولد شارغاف في فيينا، حيث حصل على درجة الدكتوراه العـــام 1928 وهو عام الاكتشـــاف الذي حققه غريفيـــث، وقضى عامين في ييل، ثم عاد إلى أوروبا، حيث عمل في برلين وباريس، قبل أن يســـتقر نهائيا فـــي أمريكا العـــام 1935 وأمضى بقية حياته العملية فـــي جامعة كولومبيا. قبل شـــارغاف الدليل الذي يؤكـــد أن الدنا يمكنها نقـــل المعلومات الجينية، وعـــرف أن جزيئات الدنا لا بد أن تظهر أنماط كثيـــرة التباين، وبنية باطنية أكثر تعقدا مما كان معروفا من قبل. واســـتخدم التقنيات الجديدة مثل تقنية فصل الألوان، «الكروماتوغرافيا» على الورق Chromatography (المألوفة في أبسط صورة منذ التجارب المدرســـية، حيث تنتشر الأحبار بمكوناتها اللونية حســـب ســـرعاتها المختلفة عند صب الحبر على الـــورق) والتحليل الطيفي للأشـــعة فوق البنفسجية، واستطاع شـــارغاف وزملاؤه بفضل هذه التقنيات بيان أن تكوين الدنا وإن كان واحدا في كل نوع تمت دراســـته، إلا أنه يختلف مـــن حيث التفاصيل من نوع إلى آخر (وإن ظل مع ذلك هو الدنا). واقترح أن لا بـــد من وجود أنواع من الدنا المختلفة بعدد الأنـــواع. ولكن مع هذا التباين علـــى النطاق الكبير وجد أيضا أن هنـــاك درجة من التماثل ينبني عليها هذا التعقـــد في جزيئات الدنا. ووجـــد أن القواعد الأربـــع المختلفة الموجودة في جزيئات الدنا تظهر في شكلين مختلفين. ذلك أن الغوانين والأدينين كل منهما مـــن مكونات عائلة كيميائية معروفة باســـم البيورينات (purines)، هذا بينما السيتوســـين والثيمين من البريميدينات (Pyrimidines)، ونشر شارغاف في العام 1950 ما أصبح معروفا باسم قواعد شارغاف. وتفيد أولا بأن إجمالي كمية البيورين الموجودة في عينة من الدنا G + T متســـاوية دائما مع إجمالي كمية البيرميدين C + T الموجودة، ثانيا، كمية A هـــي كمية T نفســـها، بينما كمية G هـي كمية C نفســـها. وتمثـــل هذه القواعد مفتاحـــا لفهم بنية اللغة

(*) توفي شارغاف في نيويورك يوم 20 يونيو 2002 - [المحررة].

الحلزونيـــة المزدوجة double-helix structure المشــهورة عن الدنا. بيد أننا لكي نعرف كيف تتماسك هذه البنية نكون بحاجة إلى الإلمام برصيد التطورات التي شهدتها الكيمياء عقب ثورة الكوانتم.

كيمياء الحياة

إن فيزياء الكوانتم التي بدأت بجهود نيلز بور وبلغت أوجها في عشرينات القرن أصبح في استطاعتها تفسير الأنماط الموجودة في الجدول الدوري للعناصـــر، وأن توفر لنا بصيرة نافذة لنعــرف لماذا بعض الذرات تنزع إلى الارتبـــاط بذرات أخرى وتكوين جزيئات، بينمـــا البعض لا ينزع إلى ذلك. وتعتمد دقائق النماذج على عمليات حســـابية لطريقة توزع الطاقة وســـط الإلكترونات داخل الذرة، وهذا هو ما يحدث دائما على نحو يقلل إلى أدنى حد إجمالي طاقة الذرة ما لم يســـتثر الذرة مؤثر نشاط خارجي. ونحن لا نريد الدخول في تفاصيل هنا، ولكن بوســـعنا القفز مباشـــرة إلى النتائج. وقـــد كانت هذه النتائج، واضحة حتى في نمـــوذج نيلز بور عن الذرة، وإن لم تتأســـس بوضوح مع التطورات التي حدثت في العشرينيات. ونلحظ أن الفارق الأهم هو أن ما ظنه بور بداية عن الإلكترونات أنها جسيمات دقيقة صلبة رأته نظرية الكوانتم عند اكتمالها كيانات منتشـــرة، بما يعني أن أي إلكترون مفرد يمكن أن يحيط بنواة الذرة كموجة.

إن الخـــواص الكوانتيـــة للإلكترونيات تســـمح فقط لعـــدد محدد من الإلكترونات لكي تشـــغل كل مســـتوى من مســـتويات الطاقة داخل الذرة، وعلـــى الرغم من أن هذا ليس دقيقا بشـــكل صارم، فـــإن لنا أن نتصورها وكأنها متوافقة مع مدارات مختلفة حول النواة. وجدير بالإشارة أن حالات الطاقة هذه معروفة أحيانا لدى الكيميائيين باســـم «المدارات - القشـــور» (Shells)، وعلى الرغم من أن بإمكان إلكترونات عديدة أن تشـــغل مدارا - قشـــرة واحدة فإن لنا أن نتصور أن كل إلكترون مفرد وكأنه منتشر بحيث يغطي كل حجم المدار - القشرة. ويبين مع هذا أن القشور الكاملة، بمعنى أنها اشتملت على الحد الأقصى من عدد الإلكترونات المسموح بها، مميزة مـــن حيث النشـــاط أو كم الطاقة على القشـــور الممتلئة جزئيـــا. وأيا كان

العنصــر الذي نتعامل معه، فإن أقل حالة للطاقة الخاصة بالذرات المفردة (الطبقة من أقرب مكان إلى النواة) بها فســحة لإلكترونين اثنين فقط في داخلها. ونجد في القشـــرة التالية لها فســحة لثمانية إلكترونات، وكذلك بالنســبة للقشـــرة الثالثة، على الرغم من أننا بذلـــك ندخل في تعقيدات تخـــرج بنا عن نطاق كتابنا. لذلك فـــإن ذرة الهيدروجين بها بروتون واحد في نواتها، ويوجد إلكترون واحد في قشـــرتها الوحيدة المشغولة. ولكن من حيث نشـــاط الطاقة ليس هذا مستصوبا تماما مثل وجود إلكترونين داخل القشـــرة. ويمكن للهيدروجين أن يحتل على الأقل مكانا وسطا لهذه الحالة المســتصوبة عن طريق الارتباط بذرات أخـــرى، بحيث يحصل على الأقل على حصـــة من إلكترون ثان. مثال ذلك في جزيئـــات الهيدروجين (H2)، حيث يســـهم إلكترون واحد من كل ذرة مع زوج مشـــترك ومحاط بكل من النويتـــين بحيث يعطي وهما بأنه قشـــرة كاملة الامتـــلاء. ولكن الهليوم له إلكترونان في قشرته الوحيدة المشغولة وبذا يكون من حيث نشاط الطاقة في حالة مميزة، والمســـماة النيرفانا الذرية atomic nirvana، ولا يتفاعل مع أي شيء.

ومع صعودنا على درجات ســـلم التعقد نجـــد الليثيوم، العنصر الثاني، لـــه ثلاثة بروتونات في نواتـــه (علاوة على أربعة نيوترونـــات في العادة)، لذلك يوجد ثلاثة إلكترونات في مجموعته. ويحفر اثنان منهما مكانا لهما في القشـــرة الأولى ويتركان واحدا ليشـــغل القشرة التالية لنفسه، إن أهم قسمة تميز بوضوح ذرة عن أخرى وتحدد خواصها الكيميائية هي القشرة، القشرة المشغولة والأبعد عن المركز، وهي في هذه الحالة الإلكترون المفرد في القشـــرة المشـــغولة الأبعد عن المركز، وهذا هو السبب في أن الليثيوم، النزاع إلى إعطاء حصة من هذا الإلكترون المفرد بالطريقة التي عرضناها توا، يكون متفاعلا بدرجة عالية وله خواص كيميائية مماثلة للهيدروجين. وأن عـــدد البروتونات في أي نواة هـــو العدد الذري لهذا العنصر تحديدا. كذلك فـــإن إضافة بروتونات إلى النواة، وإضافة إلكترونات إلى القشـــرة الثانيـــة (وإغفال النيوترونات التي ليس لها دور جوهري في الكيمياء عند هذا المستوى) ينقلنا إلى النيون الذي به عشرة بروتينات وعشرة إلكترونات

إجمالا، اثنان في القشرة الأعمق وثمانية في القشرة الثانية. والنيون، مثله مثل الهيليوم، غاز خامل، ويمكن الآن للقارئ أن يدرك من أين جاء النمط المتكرر للخواص الكيميائية للعناصر حيث ثماني وحدات منفصلة في الجدول الدوري. ويكفينا هنا مثال واحد. إن إضافة بروتون وإلكترون آخرين يصعد بنا من النيون إلى الصوديوم، الذي به قشرتان داخليتان مغلقتان وإلكترون واحد طليق في الخارج. ويحمل الصوديوم العدد الذري 11، وله خصائص كيميائية مماثلة لليثيوم، الذي عدده الذري 3 .

نموذج الرباط التساهمي وكيمياء الكربون

إن فكرة تكوين أربطة بين الذرات حال تقاسمها أزواجا من الإلكترونات لكي تكمل بشكل فعال القشرة الكاملة المغلقة استحدثها في البداية وعلى أساس نوعي الأمريكي غيلبرت لويس (1875-1946) في العام 1916، وتعرف باسم نموذج الرباط التساهمي بين الذرات Covalent bond model، وهذه ذات أهمية خاصة لوصف كيمياء الكربون الذي يمثل قلب الحياة، كما يبين لنا من أبسط مثال. نواة الكربون بها ستة بروتونات (وستة نيوترونات)، علاوة على ستة إلكترونات في مجموعة جسيماته المشحونة. ويحتل عادة اثنان من هذه الإلكترونات الطبقة الأعمق الأقرب إلى المركز تاركين الأربعة الآخرين لتشغل القشرة الثانية، وهذا هو بالتحديد نصف العدد اللازم لعمل قشرة كاملة. وأن كلا من هذه الإلكترونات الأربع يمكن أن يتزاوج بالإلكترون الذي تقدمه ذرة الهيدروجين وبذلك يتكون جزيء الميثان (CH4)، حيث ذرة الكربون في الوسط توهم أنها قشرة كاملة من ثمانية إلكترونات وكل ذرة من ذرات الهيدروجين الأربعة في الخارج توهم أنها قشرة كاملة Full Shell من إلكترونين. وإذا كانت القشرة الخارجية بها خمسة إلكترونات، فإن الذرة المركزية سوف تكون فقط بحاجة إلى تكوين ثلاثة أربطة حتى تكتمل مجموعتها، وإذا كان بها ثلاثة إلكترونات فقط فإن بإمكانها عمل ثلاثة أربطة حتى وإن كانت «تريد» خمس. ذلك أن الحد الأقصى من الأربطة التي يمكن أن تكونها أي ذرة هو أربعة فقط(*)،

(*) توجد دائما استثناءات في الظروف العادية، ولكن ليس هنا مجال مناقشتها.

وتتصف الأربطة الخاصة بالقشرات الأقرب إلى النواة المحورية بأنها الأربطة الأقوى، لهذا يعتبر الكربون صانع المركب بامتياز Compound maker، وإذا استبدلنا ذرة أو أكثر من ذرات الهيدروجين بشيء غريب من خارج - ربما يكون ذرات كربون أخرى أو مجموعات فوسفات - سوف نبدأ في تبيان السبب في أن كيمياء الكربون لديها إمكانات فائقة للغاية لإنتاج تنوع واسع جدا من الجزيئات المعقدة.

الرباط الأيوني (Ionic bond)

ومع ذلك يوجد أسلوب آخر يمكن أن تشكل به الذرات أربطة، ويعود بنا هذا إلى الليثيوم والصوديوم. يمكن أن يشكل الاثنان أربطة بهذه الطريقة، لكننا سوف نستخدم الصوديوم كمثال، لأن هذا النوع من الأربطة نجده في مادة شائعة في حياتنا اليومية، وأعني بها الملح العادي NaCl، ويعرف الرباط باسم الرباط الأيوني، واستحدث الفكرة كثيرون خلال فترة الانتقال من القرن التاسع عشر إلى القرن العشرين، على الرغم من أن الفضل بشأن وضع الأساس للفكرة منسوب - على الأرجح - إلى سويد سفانت أرينيوس (1859-1927)، الحاصل على جائزة نوبل عن أعماله في مجال الأيونات في العام 1903، ويشتمل الصوديوم، كما عرفنا، على قشرتين كاملتين داخليتين وإلكترون مفرد طليق. وإذا استطاع التخلص من هذا الإلكترون الوحيد، فسوف تتبقى لديه منظومة إلكترونات مماثلة لمنظومة النيون (ليست مطابقة تماما للنيون، لأن البروتون الإضافي في نواة الصوديوم يعني أنه متشبث بقوة أكبر بالإلكترونات)، وهي المتميزة من حيث الطاقة. ولكن الكلور به، من ناحية أخرى، ما لا يقل عن 17 إلكترونا في سحابته (وكذلك بطبيعة الحال 17 بروتونا في نواته)، منظمة جميعها داخل قشرتين كاملتين وقشرة ثالثة من سبعة إلكترونات، و«ثقب» واحد يمكن أن يدخل منه إلكترون آخر. وإذا أعطت ذرة الصوديوم إلكترونا بالكامل لذرة الكلور فإن كلتيهما تبلغ النرفانا (حالة التحرر القصوى)، ولكن على حساب تركه بشحنة كهربية، شاملة - موجبة بالنسبة إلى الصوديوم، سالبة

بالنسبة إلى الكلور، وتتماسك أيونات الصوديوم والكلور الناتجة بفعل القوى الكهربية، وتأخذ شكل منظومة بلورية تشبه جزيئا ضخما مفردا، والمعروف أن الجزيئات NaCl لا توجد في صورة وحدات مستقلة كما هي الحال بالنسبة إلى الجزيئات H2 أوCH4.

ومع ذلك فإن الأشياء في فيزياء الكوانتم نادرا ما تكون واضحة المعالم تماما، ومباشرة كما نحب لها أن تكون، وإن أحسن تصور للروابط الكيميائية هو تصورها كمزيج لهاتين العمليتين في التطبيق، مع قدر أكبر من التكافؤ التساهمي، ولكن مع مزيج أيوني، قدر أكبر من الأيون مع مزيج من التكافؤ التساهمي بحيث يصل إلى 50 : 50 تقريبا (ويمكن لنا حتى في جزيئات الهيدروجين أن نتصور ذرة هيدروجين واحدة تخلت عن إلكترونها بالكامل لذرة أخرى)، لكن جميع هذه التصورات ليست أكثر (ولا أقل) من عوامل مساعدة لخيالنا. إن الشيء المهم هو إمكان حساب الطاقة بأكبر قدر من الدقة. ونجد في الحقيقة أنه خلال عام من نشر شرودنغر لمعادلته الموجية الميكانيكية الكوانتية، وقبل عام واحد فقط من إنجاز غريفيث الذي يعتبر فتحا علميا بشأن المكورات الرئوية، استخدم عالمان ألمانيان في العام 1927، هما والتر هتلر (1904-1981) وفريتز لندن (1900-1954) هذا النهج الرياضي لحساب التغير الذي يطرأ على جماع الطاقة عندما تتحد ذرتان من الهيدروجين، كل بها إلكترونها المفرد، ويشكلان جزيئا واحدا من الهيدروجين به زوج من إلكترونين مشتركين. ولوحظ أن التغير في الطاقة الذي احتُسب يطابق إلى حد كبير جدا كمية الطاقة المعروفة لدى الكيميائيين، من خلال تجاربهم، واللازمة لكسر الرابط بين الذرات في جزيء الهيدروجين. ومع التحسينات التي طرأت على نظرية الكوانتم، أعطت الحسابات التي أجريت بعد ذلك قدرا أكبر من الاتفاق مع التجربة. وأوضحت الحسابات أن لا تعسف في ترتيب الإلكترونات في الذرات والذرات في الجزيئات، وإنما الترتيبات الأكثر استقرارا في الذرات والجزيئات هي دائما الترتيبات المقترنة بأقل طاقة. وتجلت الأهمية الحاسمة لذلك في جعل الكيمياء علما كميا

في جميع المستويات حتى مستوى الجزيء. بيد أن نجاح هذا النهج هو أيضا الجانب الأول والأهم في الدليل على أن فيزياء الكوانتم تصدق بعامة، وبأسلوب محدد غاية الدقة، على عالم الذرات، وليس فقط على حالات خاصة منعزلة، مثل حيود الإلكترونات من خلال البلورات.

إن الشخص الذي جمع كل الأجزاء معا، وجعل الكيمياء فرعا من الفيزياء، هو الأمريكي لينوس بولنغ (1901 - 1994). لقد كان شخصا آخر من هؤلاء العلماء الذين يقال عن كل منهم إنه الرجل المناسب في المكان المناسب. حصل على أول درجة علمية له في الهندسة الكيميائية من كلية الزراعة بولاية أوريغون (السلف الأول لجامعة ولاية أريغون) في العام 1922، ودرس بعد ذلك لنيل درجة الدكتوراه في الكيمياء الفيزيائية من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، وحصل على هذه الدرجة في العام 1925، وهو العام الذي بدأت فيه أفكار لوي دو بروي تلفت الأنظار. وزار بولنغ أوروبا للحصول على زمالة غوغنهايم خلال السنتين التاليتين، أي تحديدا في الوقت الذي ترسخت فيها ميكانيكا الكوانتم. وعمل لفترة شهور قليلة في ميونخ، ثم في كوبنهاغن في معهد يرأسه نيلزبور. وقضى بعض الوقت مع أروين شرودنغر في زيورخ، وزار معمل وليام براغ في لندن.

ويعتبر براغ، وابنه لورانس بخاصة، من الشخصيات الرئيسية في قصة اكتشاف بنية الدنا. عاش براغ الأكبر، وليام هنري، من العام 1862 وحتى 1942، واشتهر دائما باسم وليام براغ. تخرج في جامعة كيمبريدج في العام 1884، وعمل لمدة عام مع جي. جي. تومسون انتقل بعده إلى جامعة أدليد في أستراليا، حيث ولد ابنه وليام لورانس (واشتهر باسم لورانس براغ). واشتغل على أشعة ألفا وأشعة إكس، وعمل بعد عودته إلى إنجلترا في العام 1909 بجامعة ليدز حتى العام 1915، ثم انتقل إلى كلية لندن الجامعية، واستحدث أول مطياف لأشعة إكس لقياس الطول الموجي لأشعة إكس. وتم تعيينه في العام 1923 مديرا للمعهد الملكي، وأحياه كمركز بحثي، وأسس المعمل الذي زاره بولنغ بعد بعض سنوات. ولقد كان وليام براغ أول من راوده حلم

استخدام حيود أشعة إكس لتحديد بنية الجزيئات العضوية المركبة، على الرغم من أن التكنولوجيا المتوافرة له في عشرينيات القرن لم ترق بعد إلى مستوى المهمة.

ودرس لورانس براغ (1890-1971) الرياضيات بجامعة أدليد (وتخرج فيها في العام 1908)، ثم انتقل إلى كيمبريدج، حيث واصل في البداية دراسة الرياضيات، ثم تحول إلى الفيزياء في العام 1910 بناء على رغبة الأب، وتخرج في العام 1912، وهكذا استهل لورانس حياته كطالب أبحاث في كيمبريدج، بينما كان وليام أستاذا بجامعة ليدز، عندما تواترت أنباء من ألمانيا في العام 1912 تفيد بأن ماكس فون لاو (1879-1960) بجامعة ميونخ، شاهد حيود أشعة إكس خلال البلورات(*). وهذا يكافئ تماما طريقة حيود الضوء في تجربة اللوح المشقوق. ولكن نظرا إلى أن الأطوال الموجية لأشعة إكس أقصر كثيرا من الأطوال الموجية للضوء فإن المسافة الفاصلة بين «الشقوق الطولية» لا بد أن تكون أصغر كثيرا. وتبين أن المسافة الفاصلة بين شرائح الذرات في بلورة مناسبة تماما لأداء المهمة. وأكد هذا العمل أن أشعة إكس هي في الحقيقة شكل من الموجة الكهرومغناطيسية، مثل الضوء ولكن بأطوال موجية أقصر، ولنا أن نقدر أهمية هذا الفتح العلمي من واقع أن فون لاو حصل على جائزة نوبل عن هذه الدراسة بعد عامين من إنجازها، أي في العام 1914م.

قانون براغ - الكيمياء فرع من الفيزياء

اكتشف فريق فون لاو ما يعتبر عن يقين أنماط حيود معقدة، بيد أن الفريق لم يستطع أن يحدد مباشرة تفصيلات توضح كيفية الأنماط المتعلقة ببنية البلورات التي تحيد بسببها أشعة إكس. ناقش آل براغ الاكتشافات الجديدة أحدهما مع الآخر، وعمل كل منهما على جانب مختلف من المشكلة. وكان لورانس براغ هو الذي حدد القواعد التي تمكن من التنبؤ بدقة أين

(*) توخيا للدقة، وضع لاو تصميم التجربة التي أجراها عمليا والتر فريدريش وبول نيبنخ في معهد الفيزياء النظرية في ميونخ، ونجد هنا صدى يحاكي طريقة أرنست رادزفورد في تصميم التجربة التي أجراها هانز غيغر وأرنست مارسدن، والتي كشفت عن وجود نواة الذرة.

ستظهر البقع الساطعة في نمط حيودي عندما تصطدم حزمة من أشعة إكس ذات طول موجي مميز ببنية شبكية بلورية ذات مسافات فاصلة محددة بين الذرات عند زاوية خاصة. لقد تأكد فور اكتشاف حيود أشعة إكس أن بالإمكان استخدامها لسبر بنية البلورات بمجرد أن نقيس الأطوال الموجية المشتركة في العملية (وهنا يدخل مقياس الطيف الذي صنعه وليام براغ في العام 1913)، وسرعان ما أصبحت العلاقة التي توصل إليها لورانس معروفة باسم قانون براغ، وهيأ ذلك الفرصة للعمل في أي من الاتجاهين بقياس المسافات الفاصلة بين البقع الساطعة في النمط والتي بها يمكن تحديد الطول الموجي لأشعة إكس إذا عرفت المسافات الفاصلة بين الذرات في البلورة، وبمجرد أن نعرف الطول الموجي لأشعة إكس حتى يصبح في الإمكان استخدام التقنية نفسها لقياس المسافات الفاصلة بين الذرات في بلورة. هذا على الرغم من أن تفسير المعطيات سرعان ما بدا عملا معقدا بصورة رهيبة بسبب الهياكل العضوية المعقدة، وهذا هو العمل الذي بين لنا أن مواد مثل كلوريد الصوديوم ليس بها جزيئات مفردة NaCl، بل مجموعة من أيونات الصوديوم وأيونات الكلور منتظمة في نمط هندسي. وعمل آل براغ، الأب والابن، معا، ونشرا معا على مدى السنتين التاليتين، إذ أصدرا كتابا بعنوان: «أشعة إكس والبنية البلورية» في العام 1915 - بعد عشرين عاما فقط من اكتشاف أشعة إكس. وقبل ذلك بعام أصبح لورانس زميلا في ترينتي كوليج، ولكنه انقطع عن حياته الأكاديمية بسبب الخدمة العسكرية في الحرب كمستشار فني ثقافي للجيش البريطاني في فرنسا، وعلم وهو هناك في العام 1915 أنه هو وأبيه فازا بجائزة نوبل على إنجازهما. كان لورانس أصغر من حصلوا على الجائزة سنا (25 عاما)، وكان آل براغ هما الفريق الوحيد المؤلف من الأب والابن اللذين اقتسما معا الجائزة مقابل عملهما المشترك. وفي العام 1919 أصبح لورانس براغ أستاذا للفيزياء في جامعة مانشستر، وفي العام 1938 خلف رازرفورد كرئيس لمعمل كافنديش، حيث سيعود سريعا في المعمل إلى قصة اللغة الحلزونية المزدوجة، وعندما ترك كيمبريدج في العام 1954، أصبح أيضا مديرا للمعهد الملكي، وظل به إلى أن تقاعد في العام 1966م.

لينوس بولنغ

عرف بولنغ وهو طالب طرفا من علم بلوريات أشعة اكس، واستمد معلوماته أساسا من الكتاب الذي ألفه وليام ولورانس براغ. وأجرى أول دراسة له عن البنية البلورية مستخدما التقنية المعروفة في العام 1922 (كان البلور معدن الموليبيدنيت الأزرق molybdenite)، وعندما عاد إلى الولايات المتحدة وشغل منصبا في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في العام 1927، ثم أصبح أستاذا في العام 1931، توافرت لديه أحدث الأفكار عن علم بلوريات أشعة إكس، والتي امتلك ناصيتها، وسرعان ما استحدث مجموعة من القواعد لتفسير أنماط حيود أشعة إكس من بلورات أكثر تعقدا. والجدير بالذكر أن لورانس استحدث جوهريا مجموعة القواعد نفسها في الوقت نفسه، غير أن بولنغ كان أسبق في النشر، الأمر الذي أثار الأسى في نفس لورانس. ولاتزال العبارة السائدة حتى اليوم هي قواعد بولنغ. وأطلق هذا المنافسة بين بولنغ وبراغ والتي استمرت حتى الخمسينيات والتي سيكون لها دور في اكتشاف بنية الدنا.

ولكن انصب اهتمام بولنغ الأساسي خلال هذه الفترة على دراسة بنية الرباط الكيميائي الذي شرحه بمصطلحات ميكانيكا الكوانتم على مدى السنوات السبع التالية، أو نحو ذلك. وقام بزيارة ثانية لأوروبا بهدف استيعاب الأفكار الجديدة في فيزياء الكوانتم. وعقب هذه الزيارة أصدر في مطلع العام 1931 ورقة بحث عظيمة الشأن بعنوان «طبيعة الرابطة الكيميائية» ونشرتها صحيفة الجمعية الكيميائية الأمريكية، وأرست هذه الورقة كل حجر الأساس اللازم. وأتبعها بست أوراق بحث أخرى لإحكام صوغ الموضوع على مدى السنتين التاليتين، ثم أصدر بعد ذلك كتابا جامعا لكل جوانب المسألة. وكتب بولنغ معلقا على ذلك في فترة تالية، وقال: «بحلول العام 1935 شعرت بأنه قد توافر لدي فهم كامل من حيث الجوهر لطبيعة الرابطة الكيميائية»(*). وأصبحت

(*) انظر جدسون. ليس في هذا تفاخر وادعاء، بل إقرار بسيط بالواقع، وحصل بولنغ على جائزة نوبل لإنجازه العام 1954، وفي العام 1962 حصل على جائزة نوبل للسلام لما أسداه من جهد في الحملة من أجل نزع السلاح النووي.

المهمة الواضحة الآن هي الانتقال لاستخدام هذا الفهم بغية توضيح بنية الجزيئات العضوية المركبة، مثل البروتينات (وحري أن نتذكر أن الدنا لاتزال غير معتبرة جزيئا شديد التعقد في ثلاثينيات القرن). وخضعت هذه البنيات لبحث مزدوج - الكيمياء وفهم الرابطة الكيميائية، الذي أفاد كيف تتوافق الوحدات الفرعية للجزيئات الضخمة وتتلاحم معا (وتمثل الأحماض الأمينية الوحدات الفرعية في حالة البروتينات)، هذا بينما علم البلورات لأشعة إكس أفاد بالأشكال الكلية للجزيئات. ونعرف أن الكيمياء أقرت بصحة بعض التنظيمات فقط للوحدات الفرعية. وطبيعي أن عددا محدودا من تنظيمات الوحدات الفرعية يمكن أن ينتج أنماط الحيود المشاهدة. وإذا جمعنا بين مجموعات المعلومات وبين بناء النموذج (يكون أحيانا بسيطا مثل المقطعات الورقية التي تمثل أشكالا من الوحدات الفرعية الجزيئية وتضعها في أماكنها مثل لغز مقطعات الصور، وأحيانا عمل نماذج أكثر تعقدا ثلاثية الأبعاد) وأسقطنا كثيرا من البدائل المستحيلة، وبعد جهد شاق نبدأ عمليا في اكتشاف بنيات الجزيئات المهمة للحياة. وبذل علماء كثيرون جهدا شاقا وهائلا من مثل بولنغ شخصيا، وديزموند برنال (1901-1971)، ودوروثي هودجكين (1910-1994)، ووليام استبوري (1889-1961)، وجون كندرو (1917-1977)، وماكس بيروتز (1914-2002)، ولورانس براغ. وهيأ جهد هؤلاء لعلماء الكيمياء الحيوية العمل، على مدى العقود الأربعة التالية، لتحديد بنية كثير من الجزيئات الحيوية (biomolecules)، بما في ذلك الهيموغلوبين والأنسولين والميوغلوبين العضلي البروتيني، ولسنا بحاجة إلى بيان مدى أهمية هذا الإنجاز، سواء بالنسبة إلى المعرفة العلمية أو بالنسبة إلى آثاره لتحسين الرعاية الصحية للبشر، ولكن القصة الكاملة، مثلها مثل الطب نفسه، ليست بالأمر الذي يمكن أن نخوض فيه هنا. ولكن طرف الخيط الذي نريد أن نلتقطه، والذي أفضى إلى تحديد بنية الدنا، هو بحث أجراه بولنغ ومنافسوه البريطانيون لبنية بروتينات بعينها، لكن قبل المضي في هذا الطريق ثمة جانب من كيمياء الكوانتم الذي يتعين ذكره هنا.

طبيعة رابطة الهيدروجين

أكد وجود ما يسمى «روابط الهيدروجين» (Hydrogen bonds) أهمية فيزياء الكوانتم بالنسبة إلى الكيمياء - خاصة كيمياء الحياة - كما وضح تماما على أي نحو يختلف عالم الكوانتم عن عالم الحياة اليومية. وعرف الكيميائيـــون أن من الممكن - في ظروف معينـــة - تكوين حلقات اتصال بين الجزيئات التي تشتمل على ذرة هيدروجين لتكون أشبه بجسر. وكتب بولنـــغ في العـــام 1928 عن رابطة الهيدروجين هـــذه، والتي هي أضعف مـــن المكافئ العادي أو الرابطة الأيونية العادية. ولكنه عاد إلى الفكرة في ثلاثينيات القرن، أولا ضمن سياق الجليد (حيث روابط الهيدروجين تمثل جسورا بين جزيئات الماء)، ثم عاد إليها هو وزميله الفريد ميرسكي ليطبق الفكرة علـــى البروتينات. ويحتاج منا تفســـير التربيط الهيدروجيني إلى أن نفكر في الإلكترون المنفرد المقتـــرن بالبروتون داخل ذرة الهيدروجين، كمسحة مجهرية في وابل من شحنة كهربية، وليس مثل كرة بلياردو صغيرة جدا. وعندما تشـــارك ذرة الهيدروجين فـــي تكوين رابطة تقليدية مع ذرة مثل ذرة أكسجين، التي تجذب إلكترونها بقوة، فإن وابل الشحنة يندفع في اتجاه الذرة الأخرى تاركا فقط غطاء رقيقا من شحنة سالبة على الجانب الآخـــر مـــن ذرة الهيدروجين. ونعرف أن الهيدروجـــين على خلاف جميع الذرات الأخرى غير المتفاعلة (الهليوم ليس متفاعلا كيميائيا) ليســـت به إلكترونات أخرى في القشـــرات الأدنى لكي تســـاعد على إخفاء الشحنة الموجبـــة في بروتونها، لذلك فإن قدرا من الشـــحنة الموجبة يكون «مرئيا» لأي ذرات أو جزيئـــات أخـــرى قريبة. وهذا من شـــأنه أن يجذب أي ذرة قريبة ذات شـــحنة ســـالبة ولها هيمنة وتفوق، مثل شـــحنة أكسجين في جزيء مائي، والتي اكتسبت فائضا من شحنة سالبة من ذرتي الإيدروجين المجاورتين لها. ونلاحظ في الجزيئات المائية أن الشـــحنة الموجبة على كل مـــن ذرتي الهيدروجين يمكن أن ترتبطا بهذه الطريقة مع غيمة الإلكترون electron cloud على جزيء مائي آخر (واحد لكل ذرة هيدروجين)، وهذا هو ما يعطي الجليد بنية بلورية ذات فراغات وكثافة منخفضة تسمح لها بالطفو على سطح الماء. وأعود لأقول إن قيمة دراسة بولنغ عن الجليد أنه

استخدم الأرقام في كل ما يتعلق بها وحسب بالأرقام الطاقة المتضمنة(*). علاوة على أنه أوضح أنها تتطابق مع القيم التي كشفت عنها التجارب. وهكذا على يديه أضحت فكرة رابطة الهيدروجين محددة، علما كميا، وليست فكرة كيفية غائمة. وأثبت بولنغ وميرسكي - بالبرهان خلال منتصف الثلاثينيات في دراستهما للبروتينات - أنه عندما تنطوي سلسلة طويلة من جزيئات البروتينات وتتحول إلى أشكال متراصة متلاحمة بقوة (وليس مثل اللعبة المعروفة باسم ثعبان روبيك، أي تلتف حول نفسها مثل الثعبان في أشكال متلاصقة)، فإن أربطة الهيدروجين هي التي تجعلها متماسكة في هذه الأشكال، نظرا إلى أن تعمل بين الأجزاء المختلفة من سلسلة البروتين نفسها. وتعبر هذه عن بصيرة نافذة وأساسية نظرا إلى أن شكل جزيء البروتين حيوي بالنسبة إلى نشاطه في آلية الخلية. ويرجع الفضل في هذا كله إلى ظاهرة رابطة الهيدروجين التي لم يكن في الإمكان تفسيرها على نحو صحيح، إلا في ضوء فيزياء الكوانتم. وليس من قبيل المصادفة أبدا أن فهمنا للقاعدة الجزيئية للحياة جاء بعد فهمنا لقواعد ميكانيكا الكوانتم. وهكذا نرى مرة أخرى أن العلم يتقدم عن طريق التطور لا الثورة.

دراسات عن البروتينات الليفية Fibrous Protein

هكذا تحقق الجمع بين الفهم النظري للكيفية التي يمكن بها أن تتطابق معا الوحدات الفرعية للبروتينات أن تتطابق معا، وتحققت كذلك أنماط حيود أشعة إكس الناتجة عن الجزيئات الكاملة (عمليا نتيجة كثير من الجزيئات الكاملة المتجاورة في عينة)، ونتج أول انتصار عظيم عن هذين الإنجازين في بداية الخمسينيات، مع تحديد البنية القاعدية لعائلة كاملة من البروتينات؛ النوع الليفي الموجود في الشعر والصوف وأظافر الأصابع. وبدأ الطريق إلى هذا الانتصار، والذي كان متوقعا أن يكون طريقا طويلا وقتما كان وليام أستبوري يعمل ضمن فريق وليام براغ من الباحثين في علم البلورات بالمعهد الملكي في لندن خلال عشرينيات القرن. واستهل

(*) في هذه الحالة كان بولنغ يبحث الأنتروبيا عمليا، لكن المبدأ واحد.

أستبوري دراسته عن التكوينات ضخمة الجزيئات البيولوجية من خلال دراسته لبعض هذه الألياف عن طريق حيود أشعة إكس، وحصل على أول صور لحيود أشعة إكس عن البروتين الليفي. وواصل هذا النهج في البحث بعد انتقاله إلى جامعة ليدز في العام 1928، وتوصل خلال ثلاثينيات القرن إلى نموذج لبنية هذه البروتينات، وقد كان فعليا نموذجا خاطئا، بيد أن أستبوري هو الذي بين لنا أن جزيئات البروتين كروية الشكل globular (مثل الهيموغلوبين والميوغلوبين) مؤلفة من سلسلة طويلة من البروتينات (سلاسل البوليبيبتيد أو متعددة البوليبيبتيد Polypeptide chains) التي تلتف وتكون كرات.

الشكل الحلزوني الأليفاني

شارك بولنغ في القصة في أواخر الثلاثينيات، ونذكر فيما بعد كيف قضى صيف العام 1937 وهو يبذل الجهد لاكتشاف طريقة للف (Coiling) سلسلة بوليبديبيتد في أبعاد ثلاثة تضاهي المعطيات التي قدمتها أشعة إكس لأستبوري(*)، ولكن تبين أن حل المشكلة سوف يستغرق ما هو أكثر من فصل صيف واحد بكثير. وبدا أن البروتينات الليفية مبشرة وواعدة إلى حد كبير، ولكن نشوب الحرب العالمية الثانية أعاقت العمل، وفي الأربعينيات عكف على حل المشكلة كل من بولنغ وزملاؤه في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (خاصة روبرت كوري) ولورانس براغ (الذي أصبح رئيسا لمعمل كافنديش) وفريقه في كيمبريدج. ونشر فريق براغ أولا في العام 1950، لكن سرعان ما تبين أن نموذجهم معيب على الرغم مما يحتويه من قدر كبير من الحقائق. وتوصل فريق بولنغ إلى الحل الصحيح في العام 1951، وحدد البنية الأساسية للبروتين الليفي، وأنه مكون من سلاسل بوليبيتد طويلة ملتفة حول بعضها في شكل حلزوني مثل ألياف خيط مجدولة لعمل حبل، وأن أربطة الهيدروجين لها دور مهم في إحكام تماسك شكل الملفات. وبدا هذا انتصارا مذهلا في حد ذاته. ولكن عالم الكيمياء الحيوية غشيته أحداث أخرى حين نشر فريق

(*) انظر جدسون.

معهـــد كاليفورنيا سبع أوراق بحث منفصلة في عـــدد مايو 1951 من «وقائع محاضر جلســـات الأكاديمية القومية للعلوم»، وعرضت تفصيلا البنية الكيميائية للشـــعر والريش والعضلات والحرير والقرون وغيرها مـــن البروتينات، وعرضت كذلك «الشـــكل الحلزونـــي الأليفاني»، كما أصبح معروفا، للألياف نفســـها. وواقع الأمر أن الشكل الحلزوني حفز يقينـــا الناس على التفكير في أن الأشـــكال الحلزونية ممكنة للجزيئات البيولوجيـــة الضخمة الأخـــرى، لكن ما كان مهما بالقدر نفســـه أيضا هو النجـــاح الطاغي الذي حققه النهج الذي اســـتخدمه بولنغ بتوحيد معطيات أشعة إكس وبناء نموذج مع توافر فهم نظري لكيمياء الكوانتم. وأكد بولنغ في هذا الصدد أن الشـــكل الحلزوني الأليفاني تحدد «ليس عن طريق الاســـتدلال المباشر من المشاهدات التجريبية للبروتينات، بل عن طريق التفكير النظري تأسيســـا على دراسة مواد أبسط»(*). وألهم هذا المثال جهود اثنين ســـوف يحددان بســـرعة شديدة بنية الدنا ذاته، وينتزعـــان الجائزة برغم أنف - ليس فقـــط فريق معهد كاليفورنيا، بل أيضا فريق آخر عاكف على المشكلة في لندن.

وبدا واضحا أن بولنغ ســـوف يوجه اهتمامه الآن إلى موضوع الدنا الـــذي تحدد، كما أســـلفنا، بأنه المادة الجينية، وذلـــك خلال أربعينيات القرن(**). وكم هو يســـير في الوقت نفسه أن نتخيل كيف كان لورانس براغ يتطلع في توق شـــديد إلى منصب بولنغ، وقد تمنى منذ زمن طويل أن تتهيـــأ فرصة لتحديد بنية الدنا فـــي معمله في كيمبريدج. ولم يكن هذا ممكنا في الحقيقة، ليس لأسباب علمية، بل بسبب التمويل المحدود المخصـــص للبحث العلمي في بريطانيا، حيـــث كان الاقتصاد آخذا في الانتعـــاش ببطء للتخلص من آثـــار الحرب. وطبيعـــي أن هذا حد من حريـــة الباحثين. وكان هناك فريقان فقط لديهما القدرة على دراســـة مشـــكلة بنية الدنا، أحد الفريقين يعمل تحت إشراف ماكس بيروتز في

(*) انظر Chemistry.

(**) أزيلت شـــكوك متبقيـــة خلال هذه الفترة بفضل تجربة رائعـــة أجراها الأمريكيان ألفريد هيرشي ومارثا تشيس اللذان كانا يعملان في معمل كولد سبرنغ هاربور في جزيرة لونغ أيلاند، وأثبتا في تجربتهما أن المادة الجينية للفيروسات مؤلفة من الدنا.

كافنديش، والثاني تحت إشراف جون راندال (1905-1984) في كينغز كوليج في لنـــدن، وتمول الفريقين منظمة واحـــدة هي مجلس البحوث الطبيـــة MRC، وتوافـــرت كل الأســـباب التي تبرر تحاشـــي ازدواجية المجهود الذي يفضي إلى إهدار الموارد المحدودة، وتمثلت نتيجة التفاهم (ليس رســـميا، بل اتفاق شـــرف) في أن فريق كينغـــز كوليج أنجز أول اكتشاف للـ «دنا». ولكن العقبة في نظر كل المهتمين هي أن هذا الفريق الذي يرأسه موريس ويلكينز (-1916)(*) ليس في عجلة على ما يبدو لإكمـــال عمله، هذا فضلا عن أنه يواجه عقبة تعيقه عن العمل، وتتمثل هذه العقبـــة في خلاف بين روزالين فرانكلـــين (1920-1958)، وهي باحثة شـــابة أنتجت صورا رائعة للـ «دنا» باســـتخدام حيود أشعة إكس، والجدير بها أن تكون شريكا لويلكز الذي أحدث جفوة بينه وبينها بسبب صدام شـــخصي، ويبدو أن هذا الصدام حدث على الأقل بسبب تعصبه ضدها باعتبارها امرأة.

فرنسيس كريك وجيمس واتسون: نموذج الـ «دنا» اللولبي المزدوج

الشقاق داخل الفريق (فريق بالاسم فقط) في كنغز كوليج هيأ فرصة أفاد بها شـــاب أمريكي مندفع اســـمه جيمس واتســـون (1928 -)، الذي برز في كيمبريدج في العام 1951 في منحة دراســـية لفترة ما بعد الدكتوراه، واشتعل حماسا عاقدا العزم على اكتشاف بنية الدنا، من دون أن يعـــرف أو يعبأ بأي شـــيء عن اتفاقات الشـــرف الإنجليزية. وحصل واتسون على مكان في الغرفة ذاتها باعتباره طالبا إنجليزيا قديما حاصلا على الدكتوراه، وهناك فرنســـيس كريك (1916 -)(**)، الذي تبين أنه يتمتع بخلفية دراسية ونهج دراسي متكاملين مع واتسون. وسرعان ما حشد الاثنان جهدهما لمعالجة القضية. بدأ كريك كباحث فيزيائي وخاض حربا ضد الألغام في الأدميرالية. ولكنه، مثل كثيرين من الفيزيائيين من أبناء جيله، فجع في الفيزياء نتيجة لما شاهده من تطبيقاتها في الحرب.

(*) توفي ويلكينز يوم 5 أكتوبر 2004 [المحررة].
(**) توفي فرنسيس كريك يوم 28 يوليو 2004 [المحررة].

وتأثر أيضا، وللمرة الثانية مثل كثيرين من معاصريه، بكتاب صغير عنوانه «ما هي الحياة؟» تأليف أروين شرودنغر، ومنشور في العام 1944، ويتناول فيه عالم الفيزياء العظيم المشكلة التي نسميها الآن الشفرة الوراثية «الجينية» من وجهة نظر فيزيائي. لم يكن شرودنغر يعرف، وقت تأليفه الكتاب، أن الكروموسومات مصنوعة من الدنا، لكنه مع ذلك أوضح بعبارات عامة أن «الجزء الجوهري أكثر من غيره في الخلية الحية - نسيج الكروموسوم - قد يكون من الملائم تسميته «بلورة لا منتظمة» (aperiodic crystal) ليميز بين البلورة العادية، مثل الملح العادي، وتكرارها اللانهائي لنمط أساسي بسيط، وبين بنية يمكن أن تشاهدها في شيء «لنقل مثلا لوحة نسيجية» للفنان روفائيل، التي لا ترى فيها تكرارا فجا بل تصميما فنيا محكما ومتلاحما وذا معنى»، على الرغم من أنها مصنوعة من بضعة ألوان منتظمة بطرق مختلفة. وثمة طريقة أخرى للنظر إلى تخزين المعلومات، وهي النظر إليها في ضوء الحروف الأبجدية التي تكشف عن المعلومة في صورة كلمات، أو شفرة مثل شفرة الموسى حيث النقاط والشروط منتظمة في أنماط لتمثل الحروف الأبجدية. واستعرض شرودنغر عديدا من الأمثلة لطرق تخزين المعلومات ونقلها في مثل بلورة غير منتظمة، لكنه لحظ أنه في شفرة مماثلة لشفرة المورسي، ولكنها مؤلفة من ثلاثة رموز، وليس النقطة والشرطة فقط، ومستخدمة في مجموعات من عشرة «يمكن تكوين 88.572 حرفا مختلفا. وتأسيسا على هذه الخلفية، التحق الفيزيائي كريك بوحدة MRC في العام 1949 في معمل كافنديش، باعتباره طالب بحث وهو في الثالثة والثلاثين من عمره. واستخدم في أطروحته أشعة إكس لدراسة البوليبدتيدات والبروتينات (وحصل على درجته العلمية في العام 1953)، بيد أننا سوف نتذكره دائما بالعمل غير الرسمي الذي أنجزه كعمل جانبي بتحريض من واتسون، بينما كان لازما أن يركز جهده للحصول على درجته العلمية (الدكتوراه).

وكان هذا عملا غير رسمي في الحقيقة. طلب براغ من كريك مرتين أن يترك موضوع الدنا لفريق كنغز، ولكنه تغاضى مرتين عن الطلب،

وحصل فقط على ما يشبه موافقة رسمية من الأستاذ المسؤول في كافنديش، وذلك خلال المراحل الأخيرة من البحث حينما بدا أن بولنغ على وشك حل اللغز. وعلى الرغم من أن البصيرة النظرية النافذة والصياغة العملية للنموذج أمران مهمان، فإن كل شيء اعتمد على صور حيود أشعة إكس. وحصل أستبوري في العام 1938 فقط على أول صور بهذه الطريقة للدنا. ولم يطرأ عليها تحسن حتى الخمسينيات (ونعود لنقول أن السبب الأساسي فترة التوقف بسبب الحرب العالمية)، وذلك عندما نهض فريق ويلكينز بالموضوع (خاصة روزالين فرانكلين بمساعدة طالب بحثي يدعى ريموند غوزلنغ)، وتعطلت دراسة بولنغ للدنا بسبب أنه عمل على أساس معلومات أستبوري القديمة، واستخدم الاثنان من كافنديش معلومات كان قد التقطها واتسون أجزاء متناثرة ضمن محاضرة ألقاها فرانكلين بكنغز كوليج، وإن لم يكن قد فهمها جيدا، واستطاع الاثنان الإفادة بها وعمل نموذج للدنا متضمنا الجدائل الملتفة حول بعضها مع قواعد النيكليوتيد (A, C, G, T)، وقد برزت من الجوانب. وقدماها وهما في حالة زهو إلى ويلكينز وفرانكلين واثنين من زملائهما من لندن، اللذين دعوا خصيصا إلى كيمبريدج لحضور العرض. وبدا النموذج سيئا لدرجة محرجة، وأثارت التعليقات مرارة حادة، حتى أن واتسون الذي كان شديد الحماسة تراجع وتقوقع على نفسه حينا، بينما عاد كريك إلى دراسته عن البروتينات. ولكن في صيف العام 1952، وخلال محادثة مع عالم الرياضيات جون غريفيث (ابن أخي فريدريك غريفيث، وهو نفسه مهتم جدا ومعني بالكيمياء الحيوية)، طرح كريك فكرة أن قواعد النكليوتيد في جزيء الدنا يمكن أن تتوافق معا بشكل ما بحيث تحقق التماسك للجزيء. واستنتج غريفث، الذي لم يكن مهتما بما فيه الكفاية، من أشكال الجزيئات أن الأدينين والثيمين يمكن أن يتوافقا معا ويرتبطان من خلال زوج من أربطة الهيدروجين. ورأى أيضا أن الغوانين والسيتوسين يمكن أن يتوافقا أيضا ويرتبطا من خلال مجموعة مؤلفة من ثلاثة أربطة هيدروجين، لكن القواعد الأربع لا تتشكل منها أزواج بأي طريقة أخرى. لم يدرك كريك على الفور

أهمية هذا التزاوج ولا الصلة الوثيقة لأربطة الهيدروجين. وحيث إنه وافد جديد إلى حقل الكيمياء الحيوية لم يكن واعيا بقواعد شارغاف، لكن في حالة نادرة الحدوث زار شارغاف نفسه معمل كافنديش في يوليو 1952، حيث تعرف على كريك وعرف باهتمامه بموضوع الدنا، وذكر الطريقة التي تكون فيها عينات الدنا محتوية دائما على كميات متساوية من G,A وكميات متساوية من T,C، وإذ أضيف هذا إلى إنجاز غريفيث أفاد بوضوح أن بنية الدنا لا بد أن تشتمل على أزواج من جزيئات ذات سلسلة طويلة تربطها ببعضها جسران، جسر AG وجسر CT، وتبين أكثر من ذلك أن طول جسر CT الذي تشكل على هذا النحو يكون طوله نفس طول الجسر AG الذي تشكل بدوره على هذا النحو، بما يعني وجود مسافات فاصلة متساوية بين سلسلتي الجزيئات. ولكن فريق كافنديش تناوبوا على مدى شهور مناقشة الفكرة فيما بينهم من دون الإقدام على أي عمل جاد بشأنها. وقنعوا فقط بنوبة محمومة من النشاط في آخر العام 1952 لبناء نموذج (أنجز واتسون الجانب الأكبر من بناء النموذج، وقدم كريك القسط الأكبر من الأفكار المتألقة). وفي ديسمبر تلقى بيتر بولنغ، وهو طالب في كافنديش وابن لينوس بولنغ، رسالة من أبيه تقول له إنه توصل إلى بنية الدنا. أثارت الأنباء موجة من الكآبة في معسكر واتسون - كريك. ولكن لم تتضمن الرسالة أي تفاصيل عن النموذج. ولكن في يناير العام 1953، تلقى بيتر بولنغ نسخة مسبقة من بحث أبيه والتي أطلع واتسون وكريك عليها. بدت البنية الأساسية لولبا ثلاثيا له ثلاثة خيوط من سلاسل الدنا ملتفة حول بعضها. ولكن الشيء المذهل لكريك وواتسون (وهو الآن أفضل قليلا في فهم طرق أنماط حيود أشعة إكس) إدراكهما أن بولنغ وقع في خطأ فادح، وأن هذا النموذج من المحتمل ألا يتطابق مع المعلومات التي حصلت عليها فرانكلين.

وبعد بضعة أيام، أخذ واتسون النسخة من بحث بولنغ إلى لندن ليعرضها على ويلكينز، الذي رد عليه بأن عرض على واتسون طبعة من أفضل صور فرانكلين الفوتوغرافية من دون علمها، مما يعتبر خرقا

خطيرا لأخلاقيات العمل. ولوحظ أن هذه الصورة، التي لا يمكن تفسيرها إلا في ضوء البنية اللولبية، علاوة على قواعد شارغاف والعلاقات التي حددها جون غريفيث، هي ما مكن كريك وواتسون من إنتاج نموذجهما المشهور عن اللولب المزدوج حيث الجزيئات مجدولة بعضها حول بعض ومتماسكة عن طريق أربطة الهيدروجين التي تصل قواعد النيكليوتيد في الوسط. وتم إنجاز ذلك مع نهاية الأسبوع الأول من شهر مارس 1953، وتشاء الظروف أن بولنغ لم يكن مشتركا في السباق وقتذاك، نظرا إلى أنه لم يدرك أن نموذج اللولب الثلاثي الذي وضعه خطأ. والحقيقة أنه لم يتصور أن هناك سباقا لأنه لم يعرف على الإطلاق إلى أي مسافة أصبح منافسوه قريبين من الهدف. ولكن فرانكلين في كينغز كوليج كانت تفكر وفق منهج مماثل للغاية لمنهج كريك وواتسون (من دون بناء فيزيائي للنموذج)، وكانت على وشك نشر تصورها للولب المزدوج عندما بلغتها الأنباء من كيمبريدج. كانت قد فرغت بالفعل من إعداد المسودة الأولى لبحثها، لتسليمها لصحيفة نيتشر قبل ذلك بيوم واحد. ولكن حمى النشاط التي أثارتها ورقة بحث بولنغ التي لم تكتمل بعد أدت إلى أن انتزع كريك وواتسون الجائزة على مرأى ومسمع من فرانكلين وليس بولنغ. وتجلت النتيجة المباشرة في ظهور ثلاثة أبحاث الواحد تلو الآخر في عدد مجلة «نيتشر» في 25 أبريل 1953، البحث الأول من كريك وواتسون ويعرض تفاصيل نموذجهما، التأكيد على علاقته بقواعد شارغاف والتقليل من أهمية دليل أشعة إكس، والثاني من ويلكنز وفريقه المكون من إيه. آر. ستوكس وإتش. آر. ويلسون، وعرض البحث معطيات أشعة إكس التي أفادت بشكل العام أن جزيء الدنا له بنية لولبية، والثالث من فرانكلين وغوزلنغ، ويعرض معطيات مقنعة لأشعة إكس ويشير إلى الشكل اللولبي المزدوج للدنا والذي اقترحه كريك وواتسون (وإن لم يعرف أي إنسان آخر ذلك في وقتها)، وكانت هذه الورقة هي في جوهرها الورقة التي كانت فرانكلين عاكفة عليها وقتما توافرت الأنباء من كيمبريدج. لكن ما لم يعرفه أحد أيضا وقتها أو لم يستطع

أحـــد تخمينه من عرض الأبحـــاث الثلاثة أنه علاوة على كونه تأكيدا لإنجاز كريك وواتســـون، فإن بحث فرانكلين وغوزلنغ يمثل اكتشـــافا مســـتقلا تماما لبنية الدنا التفصيلية، وأن اكتشـــاف كريك وواتسون يعتمـــد إلى حد كبير على عمل فرانكلين. وتبين بعد مضي وقت كيف وصلت إلى كيمبريدج معطيات أشـــعة إكس الحاسمة ودورها الحيوي فـــي بناء النموذج وكيـــف عوملت فرانكلين معاملة ســـيئة للغاية على يدي كل من زميلها في كنغز كوليج وأيضا واتســـون وكريك. وشـــعرت فرانكلين نفســـها بالســـعادة إذ غادرت كينغز كوليج في العام 1953 ولم تبتئس أبدا لما حدث، لكنها وقتذاك لم تعرف قط الحقيقة كاملة نظـــرا إلى أنها توفيـــت في العام 1958 بمرض الســـرطان وهي في الثامنة والثلاثين من العمر. واقتســـم واتســـون وكريك وويلكنز جائزة نوبل للفســـيولوجيا والطـــب بعد وفاتها بأربع ســـنوات فقط، أي في العام 1962م.



39 – واتسون وكريك ونموذجهما لجزيء الدنا، 1951

الشفرة الوراثية (الجينية)

تشتمل بنية الدنا ذات الشكل اللولبي المزدوج على قسمتين أساسيتين لهما أهمية للحياة والتكاثر والتطور. الأولى أن أي تجمع للقواعد - أي رسالة بالأحرف A, C, G, T - يمكن أن تتضح وتصل على امتداد خيط مفرد للدنا. وجدير بالذكر أنه خلال خمسينيات القرن ومطلع الستينيات تركزت جهود كثيرين من الباحثين، بمن فيهم كريك (واتسون لم يفعل أي شيء آخر سوى مقارنة عمله مع عمل كريك للولب المزدوج) وكذا فريق في معهد باستور في باريس. وأوضحت هذه الجهود أن الشفرة الجينية مكتوبة بالفعل في مجموعات ثلاثية، أي مجموعات ذات ثلاث قواعد مثل CTA أو GGC، تمثل واحدا من العشرين أو نحو ذلك من الأحماض الأمينية المستخدمة في البروتينات والتي تبني وتدير أداء الجسم. وعندما تصنع الخلية البروتينات، فإن الجزء وثيق الصلة من اللولب المزدوج للدنا والذي يحتوي على الجينة الملائمة، ينفك أو ينبسط، كما أن خيطا من رامزات Codons ثلاثية الأحرف ينطبع على خيط الرنا (وهو ما يثير أسئلة مهمة لمعرفة ما إذا كان الرنا أم الدنا هو أول جزيء للحياة)، وهذا «الرنا ناقل الرسالة» الذي يختلف عن الدنا اختلافا واحدا جوهريا هو أن به أحد مكونات الحمض النووي الريبي واسمه أوراسيل (Uracil) في كل مكان بينما الدنا به الثيمين. ويستخدم هنا بمنزلة نموذج أو قالب لتجميع خيط من الأحماض الأمينية مطابقة الرامزات والتي ترتبط معا لعمل البروتين اللازم. وتستمر في هذا العمل إلى أن تنتفي الحاجة إلى هذا البروتين المحدد. ويلتف الدنا ثانية، وبعد أن تتم صناعة ما يكفي من البروتين ينقلب الرنا ويعاد استخدام مكوناته ثانية. لكن لاتزال الحاجة إلى تفسير كيف تعرف الخلية متى وأين تفعل كل هذا، غير أن المبادئ الأساسية للعملية أصبحت جلية واضحة منذ منتصف الستينيات.

القسمة المهمة الأخرى للولب الحلزوني هي أن الخيطين، تأسيسا على قواعدها، يعكسان كالمرآة صور أحدهما للآخر مع وجود A على أي من الخيطين مقابل T على الآخر، وكل C مقابل G. لذلك، إذا انفك

الخيطـــان وتم بناء شـــريك جديد لكل منهما من الوحـــدات الكيميائية المتاحـــة في الخليـــة (كما يحدث في حالة الانقســـام الخلوي(*))، فإنه فـــي اللولبين المزدوجين الجديدين يذهب واحـــد من كل زوج إلى داخل كل خلية وليدة - جديدة، وتكون هناك الرســـالة الجينية نفسها بأحرف الشفرة وبالترتيب نفسه، بحيث A مقابل T وC مقابل G. وعلى الرغم مـــن أن تفاصيل آلية العمل دقيقة، فإنها غير مفهومة كاملا حتى الآن. بيـــد أن مـــن الواضح تماما أنهـــا تهيئ آلية للتطـــور. وطبيعي أنه على مدى عملية نســـخ الدنا المســـتمرة أثناء حالة انقســـام الخلايا لا بد أن تحدث أخطاء بين الحين والآخر. مثال ذلك أن أجزاء من الدنا تُنســـخ نســـخها مرتين، أو أجزاء تتخلف ولا تنســـخ، أو أن يحدث عرضا إبدال قاعدة («حرف» في الشـــيفرة الجينية) بأخرى. ولا شـــيء من هذا يهم كثيرا بالنســـبة إلى الانقسام الخلوي الذي يؤدي إلى النمو، حيث كل ما يحدث هو أن جزءا من الرنا في خلية مفردة (وربما حتى ليس جزءا من الدنا الذي تســـتخدمه هذه الخلية تحديـــدا) قد تغير. ولكن عند إنتاج الخلايا التناســـلية عن طريق عملية الانقســـام الخاصة، والتي تناصف كمية الدنا مـــع الخلايا الوليدة، فإن الأمر لن يقتصر على توافر مجال أوســـع لحدوث أخطاء (نتيجـــة فائض العمليات الكثيرة المشـــتركة في عملية التبادل وإعادة التجميع)، ولكن إذا اســـتطاعت الخلية الجنســـية الوليدة أن تلتحم بشـــريك وتتطور إلى شريك جديد، فإن كل الرنا، بما في ذلك الأخطاء، تجد فرصة للتعبير عن نفســـها. وطبيعي أن الأغلبية العظمى من التغيرات ســـتكون ضارة وتجعل الطرف الجديد ناقل كفاءة أو محايدا على أحسن الفروض. وأن كل ما يحتاج إليه التطور الدارويني لكـــي يتحقق الانتخاب الطبيعي هو تلك الحالات النادرة التي ينتج فيها الدنا حال نســـخه للخطأ جينـــة أو حزمة جينات تجعل صاحبها أفضل تلازما مع بيئته.

(*) الخيطان لا ينفكان تماما قبل أن تبدأ عملية النســـخ. حين يبدأ اللولب المزدوج في الانفكاك لربـــاط الجديلة يبدأ شـــريكان جديدان في تهيئـــة الدعم لكل خيط وعمـــل جديلة حولهما مع اســـتمرار العملية، ومع الوقت الذي تنتهي فيه عملية فك اللولب الأصلي، يكون اللولبان الوليدان قد اكتملا بشكل أساسي.

العصر الجيني للبشرية

نحن في حاجة إلى الاهتمام بقصة الدنا من منظور موضوعنا لبيان كيف غير العلم إدراك البشرية لمكاننا في الطبيعة. إن قدرا كبيرا من العمل والجهد أُنجز منذ الستينيات لتحديد تكوين الجينات على مستوى رامزات الدنا DNA Codons. ولايزال ينتظرنا جهد أكبر قبل أن نفهم جيدا العمليات التي يمكن بها لبعض الجينات أن تتحكم في نشاط الجينات الأخرى. وأن نفهم بوجه خاص الطريقة التي «تطلق» الجينات للعمل وتنشط على النحو المطلوب خلال عملية النمو المعقدة للبالغ، ابتداء من خلية بويضة واحدة مخصبة. لكن لكي نتبين موقعنا الملائم في اللوحة النسيجية للحياة، ولكي ندرك مدى دقة تقييم تشارلز داروين لمكان الإنسان في الطبيعة، حري بنا أن نعود خطوة إلى ما وراء هذه التفاصيل لنرى الصورة الأوسع والأشمل. جدير بالذكر أنه منذ الستينيات فصاعدا وعلماء الكيمياء الحيوية عاكفون على بحث المادة الجينية للبشر ولأنواع أخرى بتفصيل أكبر وأكبر، وأصبح واضحا تدريجيا مدى قرابتنا الوثيقة بالقردة العليا الأفريقية، التي اعتبرها داروين نفسه أقرب أقربائنا من الكائنات الحية. إن كل ما يحتاج إليه التطور الدارويني لكي يتحقق الانتخاب الطبيعي هو تلك الحالات النادرة التي ينتج فيها الدنا حال نسخه للخطأ جينة أو حزمة جينات تجعل صاحبها أفضل تلاؤما مع بيئته. وتأكد منذ أواخر التسعينيات أن البشر يشاركون الشمبانزي والغوريلا بنسبة 98.4 في المائة من مادتهم الوراثية، مما يجعلنا بلغة عامية بشرا بنسبة واحد من المائة فقط. ثمة مسارات متباينة للعمل والبحث استهدفت مقارنة المادة الوراثية لأنواع حية تجمع بينها قرابات بدرجة مختلفة بعدا وقربا، ومقارنتها كذلك مع دلائل أحفورية لمعرفة متى انفصلت تلك الأنواع عن مصدر مشترك، ويبين في ضوء هذا كله أن في الإمكان استخدام هذا القدر من الاختلاف الجيني كساعة زمنية جزئية تدلنا على أن خطوط مسار البشر والشمبانزي والغوريلا تشعبت عن أصل مشترك منذ نحو أربعة ملايين سنة.

وإذا كان مثل هذا الفارق الجيني الصغير في وسعه أن ينتج كائنات مختلفة عن بعضها بقدر اختلافنا نحن عن الشمبانزي، فإن هذه الحقيقة أوحت بأن الفوارق المهمة لا بد كامنة في تلك الجينات الحاكمة Control genes التي تنظم سلوك الجينات الأخرى، ووجد هذا التفسير للدليل سالف الذكر دعما وتعزيزا من الدليل الذي زودنا به مشروع الجينوم البشري، الذي فرغ في العام 2001 من وضع خارطة كاملة لكل الدنا في كل كروموسوم في الجينوم البشري. وتعرض الخارطة المرسومة، كما تسمي أحيانا، جميع الجينات في صورة خيوط للرامزات A, C, G, T، وغير معروف حتى الآن ما الذي تفعله عمليا وتحديدا أغلبية الجينات داخل الجسم. ولكن القسمة المميزة المباشرة للخارطة أنها توضح لنا أن البشر بهم نحو 30 ألف جينة فقط. وهذا عدد أقل كثيرا من أي عدد تنبأ به أحد من العلماء، على الرغم من أن الـ 30 ألف جينة قادرة على إنتاج على الأقل250 ألف بروتينة. ويمثل هذا فقط ضعف عدد جينات ذبابة الفاكهة، وهو أكثر فقط بنحو 4 آلاف مما في أحد أعشاب البساتين الورقية الخضراء، معنى هذا أن عدد الجينات وحده ليس هو ما يحدد طبيعة الجسم الذي تبنيه الجينات. وواضح أن جينات البشر ليست أكثر من أي أنواع أخرى، لذلك فإن عدد الجينات في حد ذاته لا يفسر أسباب اختلافنا عن الأنواع الأخرى، ونعود لنقول إن المفاد من ذلك أن ثمة بضع جينات رئيسية فينا مختلفة بالمقارنة مع أقرب الأنواع، وأن هذه الجينات تؤثر في طريقة عمل الجينات الأخرى.

ومع هذا فإن الحقيقة الصلبة الداعمة لكل ذلك هو أنه لن يكون في الإمكان عمل أي من هذه المقارنات إذا لم تكن جميع الأنواع موضوع البحث تستخدم شيفرة جينية واحدة. ولكن على مستوى الدنا وميكانيزمات عمل الخلية، بما في ذلك الرنا ناقل الرسالة الوراثية وصناعة البروتينات، وكذلك التكاثر ذاته، لا يوجد على الإطلاق أي فارق بين البشر وأشكال الحياة الأخرى على الأرض. إن جميع الكائنات تشترك في الشيفرة الجينية نفسها، ولقد تطورنا جميعا بالطريقة

نفسـها من أشكال أولية (ربما شـكل أولي وحيد) للحياة على الأرض. وليس ثمة ما هو خاص بشـأن العمليات التي أنتجت البشـر بالمقارنة بالعمليات التي أنتجت الشمبانزي أو قنافذ البحر أو الكرنب أو الدويبة المعروفة من القشـريات باسم حمارقبان Wood Louse، إن إزاحتنا عن مركز المسـرح حدث عميق، مثل عمق نظرتنـا إلى مكان كوكب الأرض نفسه في الكون باتساعه.

15

الفضاء الخارجي

«نعـرف الآن أن كوكـب الأرض كوكـب عادي يدور في فلـك حول نجم عادي وسط ضواح وأحياء لمجرة متوسطة»

المؤلف

قياس أبعاد النجوم

يعتمد فهمنا للكون في شموله على أساسـين اثنـين: القدرة علـى قياس الأبعاد أو المسافات الفاصلة بيننا وبين النجـوم، والقدرة علـى قياس مكونات النجوم. وسـبق أن عرفنـا أن أول فهم حقيقـي للمسـافات الفاصلـة بيننـا وبين النجـوم بدأت بـوادره في القرن الثامـن عشـر، عندما تحقـق أدموند هالـي من أن بعض النجـوم «الثوابت» انتقلت منـذ التاريخ الذي رصدها فيه أسلافنا في اليونان القديمة. بعد ذلك شـرع علماء الفلك في إجراء قياسات دقيقـة للأبعـاد على نطـاق المنظومة الشمسية، مسـتخدمين عملية التثليث

Triangulation ذاتها التي تشكل قاعدة المسح. إننا لكي نقيس المسافة الفاصلة بيننا وبين جرم سماوي من دون الوصول إليه عمليا نحتاج إلى أن تتوافر لدينا القدرة على رصد الجرم من كل من طرفي الخط القاعدي base line لطول معروف. ونستطيع من خلال تحديد زوايا خطوط الإبصار إلى الجرم من عند طرفي الخط القاعدي أن نحدد المسافة من هندسة المثلثات. تم استخدام هذه التقنية في السابق لقياس المسافة إلى القمر، وهو الجار الأقرب لنا في الفضاء. وتبين أن المسافة تساوي 384.400 كم؛ ولكن بالنسبة إلى أجرام أبعد من ذلك نحتاج إلى خطوط قاعدية أطول حتى يتسنى لنا التوصل إلى قياسات دقيقة. وحدث في العام 1671 أن سافر عالم الفلك الفرنسي جانه ريشي (1630 - 1696) إلى كايين في غيانا الفرنسية، حيث أجرى عمليات رصد لموقع المريخ بالنسبة إلى خلفية نجوم «ثوابت»، وأجرى في الوقت نفسه زميله في باريس جيوفاني كاسيني المولود في إيطاليا (1625 - 1712) عمليات رصد مماثلة. وأمكن بذلك تحديد المسافة إلى المريخ، وتم جمع هذه الطريقة في إطار واحد مع قوانين كيبلر عن حركة الكواكب لحساب المسافة من الأرض (أو أي كوكب آخر في المنظومة الشمسية) إلى الشمس. وتوصل كاسيني في تحديده للمسافة بين الشمس - والأرض إلى رقم 140 مليون كم، وهذا الرقم أقل فقط بنسبة 7 في المائة عن القيمة المحددة حديثا، وهي 149.6 مليون كم، وحدد أول درجة دقيقة في مقياس المنظومة الشمسية. وتمت دراسات مماثلة لكوكب الزهرة خلال فترة الزوال عامي 1761 و1769 (التي تنبأ بها هالي)، وأفضت إلى تقدير أفضل للمسافات بين الشمس والأرض (والمعروفة باسم الوحدة الفلكية AU- Astronomical Unit)، وتحددت آنذاك بـ 153 مليون كم وهو تقدير قريب جدا من القيمة الحديثة بحيث نعتبر التحسينات التي طرأت بعد ذلك على القياسات مجرد صقل للقياسات وتقبل أنه مع نهاية القرن الثامن عشر كانت قد توافرت لدى علماء الفلك فكرة جيدة جدا عن مقياس المنظومة الشمسية.

تحديد الاختلاف الظاهري النجمي

إن ما كان يثير القلق في هذا الشأن وقتذاك هو ما تشير إليه القيم من مسافات لا يتخيلها العقل تفصل بيننا وبين النجوم. ونحن نعرف أن كوكب الأرض، في أي فترة طولها ستة أشهر، ينتقل من جانب تجاه الشمس إلى الجانب الآخر عند الطرفين المتقابلين للخط القاعدي، وطوله 300 مليون كم (أو 2 وحدة فلكية AU). ولكن مواقع النجوم على سماء الليل لا تتغير عند النظر إليها من أي من طرفي الخط القاعدي الهائل هذا. ويمكن للمرء أن يتوقع أن النجوم الأخرى سوف تبدو له وكأنها تتحرك مقابل خلفية من نجوم أكثر بعدا، تماما مثلما أنظر إلى إصبع ممدودة وذراعي ممدودة على آخرها وأغلق أيا من العينين على التوالي فيبدو لي أن موضع الإصبع يتحرك مقابل خلفية أجسام أبعد (وهذا مثال للظاهرة المعروفة باسم «الاختلاف الظاهري» Parallax). وكم هو يسير أن أحسب مدى البعد الذي يكون عليه نجم لكي أراه يتحرك عند النظر إليه من مواقع مختلفة على مدار كوكب الأرض. ويحدد علماء الفلك الاختلاف الظاهري للفرسخ النجمي أو ثانية القوس A second of arc بأنه المسافة الفاصلة إلى نجم، والتي تكشف عن حدوث نقلة قدرها ثانية قوس على صفحة السماء بين الطرفين المتقابلين للخط القاعدي وطوله 1 وحدة فلكية AU(*). معنى هذا أن نجما على بعد فرسخ نجمي واحد سوف يكشف عن نقلة قدرها 2 ثانية قوس من الطرفين المتقابلين للخط القاعدي الذي طوله 300 مليون كم ويمثله قطر مدار كوكب الأرض. وبحساب الهندسة البسيطة، فإن مثل هذا النجم سيكون على بعد 3.26 سنة ضوئية، أي ما يعادل 206.265 ضعفا للمسافة الفاصلة بيننا وبين الشمس. ولا يوجد نجم قريب منا بالقدر الكافي ليكشف لنا عن هذا القدر من تحول الاختلاف الظاهري على صفحة السماء أثناء حركة كوكب الأرض حول الشمس.

(*) حتى يتوافر للقارئ إحساس بهذه الأحجام الزاويّة، حري أن نعرف أن القمر بكامله شمل 31 دقيقة قوس Minute of arc، أي زيادة بواحد عن نصف الدرجة؛ لذلك فإن ثانية القوس تساوي تقريبا واحدا على ستين من واحد على ثلاثين، أو 1 على 1800 من العرض الظاهري للقمر على صفحة السماء.

وظهرت تلميحات تفيد بأن النجوم لا بد أن تكون على بعد مسافات من هذا النوع الذي تضمنته العملية الحسابية البسيطة. مثال ذلك أن كريستيان هايغنر حاول تقدير المسافة إلى نجم الشعري اليمانية Sirus، وهو النجم الأشد سطوعا في السماء ليلا، وذلك بالمقارنة بين درجة سطوعه وسطوع الشمس. ووصولا إلى هذا الهدف سمح بنفاذ ضوء الشمس إلى داخل غرفة مظلمة من ثقب صغير على شاشة، وعمل على تعديل حجم الثقب حتى بدا الضوء من ثقب الدبوس مطابقا لسطوع الشعري اليمانية - وهذا ليس بالعمل اليسير، إذ كان لزاما عليه أن ينظر إلى الشمس في ضوء النهار وإلى الشعري اليمانية في الليل. ومع ذلك، فإنه إذ أبان ضآلة ضوء الشمس الذي يمثل جزءا صغيرا بالقياس إلى درجة السطوع الملحوظة لنجم الشعري اليمانية؛ وإذ عرف أن درجة سطوع جرم ما تتناسب تناسبا عكسيا مع مربع المسافة، فقد أكد أن نجم الشعري اليمانية إذا كانت درجة سطوعه حقيقة مثل درجة سطوع الشمس، فلا بد أن يكون أبعد بما مقداره 27.664 ضعفا. وعمل الإسكوتلندي سكوت جيمس غريغوري (1638 - 1675) على تحسين هذه التقنية بأن قارن سطوع الشعري اليمانية بسطوع الكواكب التي نراها في السماء في وقت واحد، وبدت العملية الحسابية أكثر تعقيدا بقليل لأنها تضمنت تحديد كيف يضعف ضوء الشمس في الطريق لوصوله إلى الكواكب، مع تقدير كم الضوء المنعكس وحساب الكيفية التي يضعف بها الضوء المنعكس وهو في طريقه إلى كوكب الأرض. ولكن في العام 1668 توصل غريغوري إلى تقدير للمسافة حتى الشعري اليمانية بأنها تساوي 83.190 وحدة فلكية، وعمل إسحق نيوتن على تحديث هذه الحسبة مستخدما تقديرات محسنة للمسافات حتى الكواكب وتوصل إلى أن المسافة حتى نجم الشعري اليمانية مليون وحدة فلكية وهو التقدير المنشور في كتابه «منظومة العالم» الصادر العام 1728، بعد عام من وفاته. ونعرف الآن أن المسافة الفعلية حتى الشعري اليمانية هي 550.000 وحدة فلكية أو 2.67 فرسخ نجمي. ولكن الدقة الظاهرية لتقدير

نيوتن ترجع بقدر كبير إلى الحظ في إصدار الحكم. علاوة على الأخطاء التي لا مناص منها نتيجة نقص المعلومات المتاحة له آنذاك، والتي تعارض بعضها مع بعض.

إن قياس المسافات بيننا وبين النجوم مستخدمين تقنية التثليث أو اختلاف المنظر يستلزم الدقة الشديدة في قياس مواقع النجوم على صفحة السماء (والذي يعني في الحقيقة مواقعها بعضها بالنسبة إلى بعض). ونذكر هنا قائمة فلامستد التي تمثل إنجازا عظيما للغاية في يومها، إذ تعرض القائمة المواقع بدقة 10 ثوانٍ من القوس فقط (أي 180/1 من قطر القمر الكامل في السماء). وجدير بالذكر أن أول قياس للمسافات إلى النجوم تم فقط في ثلاثينيات القرن التاسع عشر، إذ في هذا الوقت أمكن بفضل التكنولوجيا المحسنة عمل قياسات دقيقة على نحو كاف لقياس نقلات الاختلاف الظاهري الدقيقة - ولكن لم تكد التكنولوجيا تصبح جيدة جدا حتى شرع على الفور كثيرون من علماء الفلك في عمل قياسات. واختار الرواد الأوائل لدراستهم نجوما رأوا لأسباب لديهم، أنها الأقرب نسبيا إلينا - إما لأنها شديدة السطوع والتألق أو لأنها تبدو وكأنها تنتقل عبر السماء بمرور السنين (لها حركات حقيقية للنجم)، أو للسببين معا. وأول من أعلن تحديد الاختلاف الظاهري النجمي Stellar Paralax وعن المسافة إلى هذا النجم هو الألماني فريدريك ويلهلم بيسيل (1784 - 1846) وذلك في العام 1838. اختار كوكبة الدجاجة Cygni وهو نجم له حركة كبيرة، ووجد أن اختلاف موضعه هو 0.3136 ثوان من القوس، بما يعني أن المسافة 10.3 سنة ضوئية (وتبين القياسات الحديثة أن المسافة 11.2 سنة ضوئية، أو 3.4 فرسخا نجميا). وواقع الأمر أن أول شخص يقيس اختلاف الموضع النجمي هو الإسكوتلندي توماس هندرسون (1798 - 1874) الذي كان يعمل في جنوب أفريقيا العام 1832؛ درس نجم قنطورس الرئيسي Alpha Centauri، ثالث أكثر النجوم سطوعا في السماء ليلا، وتوصل إلى أن اختلاف موضع ثانية واحدة من القوس (ثم خفضها بعد ذلك إلى 0.76 من ثانية القوس بما يعني أن المسافة 1.3 فرسخا نجميا، أي 4.3 سنة ضوئية). ولكن لم تنشر

نتائج دراسة هندرسون إلا بعد عودته إلى إنجلترا العام 1839. ويعتبر نجم قنطورس الرئيسي (والمعروف الآن بأنه منظومة ثلاثية به ثلاثة نجوم في مدار بعضها حول بعض) هو أقرب نجم إلى الشمس، وله أكبر اختلاف ظاهري تم قياسه. وبعد عام من إعلان هندرسون ظهر عالم الفلك الألماني المولد فريدريك فون ستروف (1793 - 1864)، الذي كان يعمل في مرصد بولكوفا قرب سان بطرسبرغ وقاس، الاختلاف الظاهري لنجم النسر الواقع Vega (ويعرف أيضا باسم كوكبة القيثارة Alpha Lyre)؛ وأعطى رقما أعلى قليلا، ولكن القياسات الحديثة تحدد اختلافا ظاهريا يقدر بـ 0.2613 ثانية من القوس ومسافة قدرها 8.3 فرسخ نجمي (27 سنة ضوئية). ولكن الشيء المهم الذي نخرج به من هذه القياسات أنها جميعها خاصة بنجوم هم جيران قريبون لنا وفقا للمقياس الكوني. إن أقرب نجم إلى الشمس أبعد من بلوتو بـ 7000 ضعف، الذي نعتبره أبعد كوكب في المنظومة الشمسية. وطبيعي أننا لا نكاد نعرف المسافة الحقيقية إلى النجم، حتى نستطيع أن نستخرج درجة سطوعه الحقيقية (التي تسمي النصوع المطلق للنجم absolute magnitude) عن طريق عكس التقنية التي استخدمها هايغنز وغريغوري ونيوتن في دراسة الشعري اليمانية. ونحن الآن، بهذه الطريقة، نعرف أن الشعري اليمانية نفسه يبعد عنا بما قدره 2.67 فرسخا نجميا، وهو فعليا أكثر سطوعا من الشمس، الأمر الذي لم يكن بإمكان نيوتن أو أي من معاصريه أن يعرفوه. بيد أن هذه الفتوحات العلمية في نهاية ثلاثينيات القرن التاسع عشر لم تقدم معلومات، على الرغم من عظمتها، سوى أن أفادت بالنطاق الشاسع للكون. ولم يتيسر في الحقيقة قياس الاختلاف الظاهري بسهولة أكبر إلا في نهاية القرن التاسع عشر، وذلك بفضل استخدام ألواح التصوير الضوئي لتسجيل مواقع النجوم. ولكن قبل هذا كان يجري قياس المواقع بالعين، مستخدمين أسلاكا متقاطعة لتلسكوب، وفي الوقت الواقعي؛ وليس غريبا أن نسبة القياسات الجديدة كانت تقريبا بمعدل سنة واحدة بعد 1840 وحتى نهاية القرن، بحيث إنه مع العام 1900 توافرت لنا فقط 60 اختلافا ظاهريا. وبحلول العام

1950 تحددت مسافات نحو 10.000 نجم (وليس جميعها عن طريق اختلاف ظاهري)(*)، ومع اقتراب نهاية القرن العشرين قاس القمر الاصطناعي هيباركوس اختلافات ظاهرة لما يقرب من 120.000 نجم، بدقة تصل إلى 0.002 ثانية قوس.

علم الطيف ومادة النجوم

لم يبدأ علم الفلك الحديث - أو الفيزياء الفلكية astrophysics - إلا مع بداية القرن العشرين، وجاءت البداية تحديدا بسبب استخدام تقنيات التصوير الضوئي بغية الاحتفاظ بصور النجوم. وإذا كان التصوير الفوتوغرافي أعطانا أبعاد عدد كبير من النجوم مما جعل الدراسات الإحصائية للنجوم ذات أهمية، فإنه أيضا زودنا بوسيلة لتسجيل وحفظ صور طيف النجوم، وطبيعي أن علم الطيف (الذي تطور، كما عرفنا، في ستينيات القرن التاسع عشر فقط) هيأ لعلماء الفلك إمكانية الحصول على معلومات عن تكوين النجوم. وكانت ثمة معلومة حيوية أخرى لازمة - وهي كتلة مواد النجوم. وهذا هو ما وفرته دراسات المنظومات الثنائية binary systems التي بها نجمان يدوران في مدار أحدهما حول الآخر. ونعرف أن الفصل بين النجوم في عدد محدود من المنظومات الثنائية القريبة منا يمكن قياسه على أساس زاوٍ، وهو ما يمكن تحويله إلى مسافات خطية إذا ما كانت المسافة الفعلية إلى منظومة النجم معروفة لنا (كما هي الحال بالنسبة إلى نجم قنطورس الرئيسي). وجدير بالذكر أن تأثير دوبلر(**) Doppler effect المهمة

(*) مثال ذلك أن مسافات إلى مجموعات من النجوم التي تتحرك معا في الفضاء في شكل عنقود يمكن تحديدها على وجه التقريب هندسيا، وذلك عن طريق قياس الحركات الحقيقية للنجوم، والتي تبدو أنها تلتقي عند نقطة في السماء، تماما مثلما تبدو خطوط السكك الحديد المتوازية تلتقي عند نقطة على البعد. وثمة تقنيات إحصائية أخرى ساعدت على بيان المسافات إلى النجوم، ولكن تفاصيلها لا تعنينا هنا.

(**) هذه الظاهرة تبدد موجات الضوء عن الأجرام التي تتحرك في اتجاهنا، وتحول معالم مميزة في الطيف إلى الطرف النهائي الأزرق للطيف، وتزيد من موجات ضوء منبعثة من أجرام تتحرك مبتعدة عنا وتتسبب في الزحزحة الحمراء للطيف red shirt، ويدل حجم الزحزحة في أي من الحالتين على السرعة النسبية للجرم.

للغاية في طيف الضوء الذي نراه منبعثا من نجوم المنظومة الثنائية توضح لعلماء الفلك مدى سرعة حركة النجوم حول بعضها، وهذا التأثير، بالإضافة إلى قوانين كيبلر (التي تنطبق على النجوم التي تدور في مدار بعضها حول بعض مثلما تنطبق بالقدر نفسه على الكواكب التي تدور في مدارها حول النجوم)، يكفيان لكي يستطيع علماء الفلك استنتاج كتل مادة النجوم. ونعود لنقول إنه مع مطلع القرن العشرين توافرت عمليات رصد كافية من هذا النوع، مما جعل الإحصاء عملا مهما. ولهذا لا غرابة إذ نجد في هذا الوقت عالمين فلكيين يعملان على الضفتين المتقابلتين للمحيط الأطلسي، وكلاهما مستقل عن الآخر، استطاعا حل لغز الرسومات المقطعة، وتوصلا إلى أهم رؤية تكشف عن بصيرة نافذة عن طبيعة النجوم، فقدما رسما بيانيا يوضح علاقة ألوان النجوم بدرجة النصوع. قد لا يبدو الأمر مثيرا جدا، ولكنه مهم لبحث الفيزياء الفلكية بقدر أهمية الجدول الدوري للعناصر بالنسبة إلى الكيمياء. بيد أن هذا الإنجاز، حسبما آمل في أن أكون قد بينت بوضوح، مثله مثل غالبية التطورات في العلم، لم يكن في حقيقته تطورا ثوريا، بل تقدم تطوري تأسيسا على ما تحقق في السابق، واعتمد على أسس التكنولوجيا التي تحسنت.

الرسم التخطيطي لهرتزبرونغ - رسل

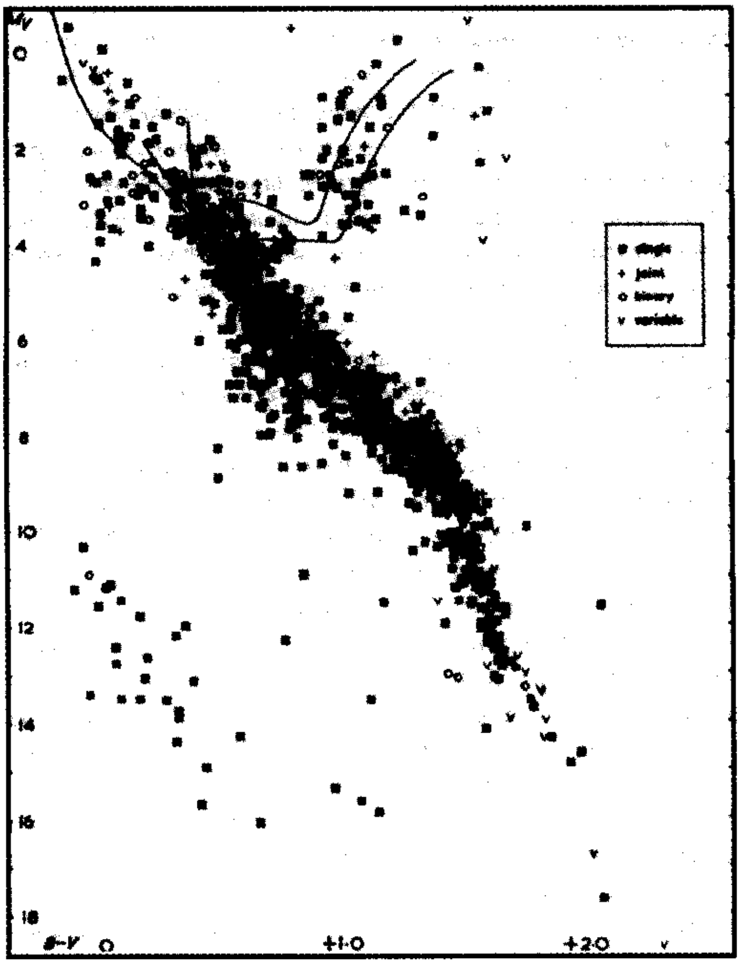
ولد الدنماركي إينار هرتزسبرنغ في فريدريكسبرغ يوم 8 أكتوبر العام 1873. درس ليكون مهندسا كيميائيا وتخرج في كوبنهاغن بولي تكنيك في العام 1898، ودرس بعد ذلك الكيمياء الضوئية photochemistry، ولكنه منذ العام 1902 وما بعده عمل لحسابه الخاص (بصفة شخصية، ومن دون أجر) بمرصد جامعة كوبنهاغن، حيث تعلم كيف يكون باحثا فلكيا متخصصا في الأرصاد مطبقا مهاراته في التصوير الضوئي على الأرصاد الفلكية. وخلال هذه الفترة اكتشف العلاقة بين درجة نصوع النجم ولونه، ولكنه نشر هذه النتائج (في العامين 1905 - 1907) في صحيفة للتصوير الضوئي، ولم تلفت أنظار أي من علماء الفلك

المتخصصين في كل أنحاء العالم. وعلى الرغم من هذا، تزايدت شـهرة هرتزسبرنغ المحلية إلى الحد الذي جعل كارل شوارتزشيلد (1873 - 1916)، الذي كان يراسله، يعرض عليه منصبا في مرصد غوتنغن. وعندما انتقل شوارتزشيلد إلى مرصد بوتسدام في العام التالي، ذهب معه هرتزسبرنغ وبقي هناك حتى العام 1919 عندما انتقل إلى هولندا ليعمل أولا أستاذا في جامعة ليدن، ثم في العام 1935 مديرا لمرصد ليدن. وعلى الرغم من أن هرتز برونغ تقاعد رسميا في العام 1944 فإنه استمر في إجراء بحوث فلكية، ثم عاد إلى وطنه الدنمارك وهو في الثمانينيات حيث وافته المنية يوم 21 أكتوبر العام 1967 بعد ذكرى ميلاده الرابعة والتسعين بأيام. وقدم مساهمات كثيرة للرصد الفلكي، بما في ذلك دراساته عن الحركات الحقيقية للأجرام، والعمل على قياس المسافات الكونية، ولكن لا شيء يرقى إلى مستوى الاكتشاف الذي حققه وقتما كان تقانيا لايزال هاويا.

وهنري نوريس رسل المولود في أويستر باي، نيويورك يوم 25 أكتوبر العام 1877. استهل حياته العملية الأكاديمية بطريقة تقليدية أكثر مما هي الحال بالنسبة إلى هرتزسبرنغ، حيث درس بجامعة برينستون، وزار جامعة كيمبريدج، قبل أن يشغل وظيفة أستاذ علم الفلك في برينستون في العام 1911. وهناك حقق بشكل جوهري الاكتشاف نفسه الذي حققه هرتزسبرنغ عن العلاقة بين ألوان النجوم ودرجة النصوع. ولكنه أحسن التصرف بأن نشر اكتشافه (عام 1913) في صحيفة يقرأها علماء الفلك، وواتته ومضة إلهام بأن يحدد المواقع والعلاقة في صورة رسم توضيحي، والمعروف الآن باسم الرسم التخطيطي لهرتزسبرنغ - رسل (أو فقط HR)، مما جعل أهمية الاكتشاف واضحة على الفور للقراء(*). وسرعان ما اشتهرت مساهمة هرتزسبرنغ في هذا الاكتشاف، ومن هنا جاء الاسم المشترك بينهما للرسم. والمعروف أن رسل استقر في برينستون طوال حياته العملية، على الرغم من أنه أفاد كثيرا باستخدامه

(*) نشر هرتزسبرنغ في هذه الآونة نتائجه أيضا في رسم توضيحي في العام 1911 ولكن مرة أخرى في صحيفة تكاد تكون مغمورة (لعلماء الفلك).

للتلسكوبات الجديدة المقامة في كاليفورنيا على مدى عدد محدود من السنوات التالية. وقدم، بخلاف الرسم المشترك HR مساهمات مهمة في دراسة النجوم الثنائية binary stars، كما بحث تكوين الغلاف الغازي المحيط بالشمس مستخدما تكنولوجيا علم الطيف، وتقاعد العام 1947 وتوفي في برينستون في 18 فبراير 1957.



40 - الرسم التخطيطي لهرتزسبرنغ - رسل عن درجة نصوع نجم (رأسيا) إلى لونه (أفقيا)

علاقة نصوع اللون وأبعاد النجوم

الفكرة في الرسم التخطيطي HR (ويسمى أحيانا الرسم التخطيطي لدرجة نصوع اللون، حيث إن كلمة magnitude في علم الفلك تعني نصوع اللون) هي أن درجة حرارة النجم وثيقة الصلة بلونه. ونحن هنا لا نتحدث فقط بأسلوب كيفي عن ألوان قوس قزح، وإن كان صحيحا

أن النجوم الزرقاء والبيضاء دائما ناصعة، بينما بعض النجوم البرتقالية والحمراء تكون ناصعــة بذاتها، وبعضها الآخر ضعيفا باهتا(*) (عملية الرصد الأساســية التي قام بها هرتزسبرنغ في العقد الأول من القرن العشرين). ويمكن لعلماء الفلك أن يقدموا ما هو أفضل ويحددوا قياس اللون على أساس كمي. إنهم يحددون لون نجم من النجوم بدقة شديدة على أســاس كمية الطاقة التي يشــعها بأطوال موجية مختلفة، وهو ما يبين درجة حرارة الســطح الــذي ينبعث منه الضوء. وإذا اســتخدمنا الخواص المعروفة بإشعاع الجسم الأسود، نعرف أن درجة حرارة سطح أي نجم يمكن تحديدها من قياســات لثلاثة أطوال موجية (وربما اثنين عنــد الاضطرار). ولكن النصوع الحقيقــي لنجم ما (أي درجة النصوع المطلق) يوضح لنا كم الإشــعاع إجمــالا المنبعث من النجم، بغض النظر عن درجة حرارته. ويمكن لبعض النجوم الحمراء أن تكون باردة وناصعة فــي آن واحد لأنها ضخمة جدا، إذ على الرغم من أن كل متر مربع من الســطح يتوهج بلون أحمر، فإنه توجــد أعداد هائلة من الأمتار المربعة التي تطلق طاقة داخل الكون. كذلك فإن نجوما صغيرة يمكنها فقط أن تكــون ناصعة بالمثل بينما هي حــارة إلى درجة اللون الأزرق أو الأبيض، وتطلق كميات طاقة تنفذ إلى كل متر مربع من الســطح الأصغر؛ وثمة نجوم برتقالية صغيرة (مثل الشــمس) تكــون بطبيعتها أقل نصوعا من نجوم حارة بالحجم نفســه أو نجوم ضخمة لها درجة الحرارة نفســها. وتتحقق الإضافة عندما تتضمن الدراســة كتل مــادة النجوم. وعندما نضع نقاطا في الرسم التخطيطي HR تحدد درجــات حــرارة (أو لون) ونصوع (درجة شــدة لون) النجم، نجد أن غالبية النجوم تحتل شريطا ممتــدا بامتداد القطر على امتداد الرســم، حيــث النجوم الحارة ذات الكتلة الكثيفة المتماثلة الحجم (القطر) مثل الشــمس عند أحد طرفي الشــريط، بينما النجــوم الباردة المعتمة الأقل كثافة من الشــمس عند الطرف الآخر. وتعتبر الشــمس ذاتها نجما متوسطا تكاد تقريبا تحتل منتصف هذه المتوالية الرئيســية. وتقع النجــوم الضخمة الباردة، لكن

(*) نحــن نؤكد على ناصع أو باهت بذاته. ونحن لا نتحدث هنا عن النصوع الظاهري لنجم في السماء، بل درجة النصوع الحقيقية، العميقة التي نعرفها من مسافته.

الناصعة (العمالقة الحمر) أعلى المتوالية الرئيسية، وتوجد أيضا بعض النجوم المعتمة الصغيرة ولكنها حارة (الأقزام البيضاء) أدنى المتوالية الرئيسية. ولكن المتوالية نفسها هي التي هيأت لعلماء الفيزياء الفلكية أول رؤية نافذة إلى أعماق ما يجري في باطن النجوم، وهذه الرؤية النافذة هي التي استحدثها بشكل أساسي أول الأمر عالم الفلك البريطاني آرثر إدنغتون، والذي ينظر إليه باعتباره أول عالم فيزياء فلكية، ذلك أنه هو من اكتشف العلاقة بين كتلة مادة النجم وموقعه في المتوالية الرئيسية.

ولد إدنغتون في 28 ديسمبر 1882 في بلدة كندال، مقاطعة ليك ديستريكت في إنجلترا. توفي أبوه في العام 1884 وانتقلت الأسرة (حيث كان لآرثر أخت واحدة) إلى سومرست حيث نشأ وترعرع مؤمنا بمذهب الكويكر. تلقى إدنغتون تعليمه في أووينز كوليج في مانشستر (السلف لجامعة مانشستر)، ثم بعد ذلك في جامعة كيمبريدج من 1902 إلى 1905. عمل بمرصد غرينيتش الملكي حتى العام 1913، قبل العودة إلى كيمبريدج أستاذا للفلك والفلسفة التجريبية (خلفا للأستاذ جورج داروين)، وفي العام 1914 أصبح أيضا مديرا لمراصد الجامعة. واستمر في مناصبه هذه إلى أن وافته المنية في كيمبريدج يوم 22 نوفمبر 1944. كان راصدا ماهرا ومفكرا نظريا رائعا ومديرا متمكنا، تحلى بموهبة توصيل الأفكار العلمية المهمة بلغة واضحة إلى جمهور عريض (هو أول من عرض موضحا للجمهور نظريتي آينشتين عن النسبية بالإنجليزية)، وترك إدنغتون بصمة عميقة في علم الفلك خلال القرن العشرين، ولكن أفضل ما يذكره به العلم هو مساهمتان رئيستان.

المساهمة الأولى أحد أسبابها أن إدنغتون من أتباع مذهب الكويكر الذي يرفض الحرب بحكم ضميره. وعرض بنفسه نظرية النسبية العامة لآينشتين أمام أكاديمية برلين للعلوم في العام 1915، وصدرت بالألمانية في العام التالي، بينما بريطانيا وألمانيا في حرب. ولكن وصلت نسخة من بحث آينشتين إلى فيلم دو سيتر (1872 - 1934)

في هولندا، وأرسل دو سيتر نسخة منها إلى إدنغتون الذي كان يعمل وقتذاك من بين مهامه الأخرى أمينا للجمعية الفلكية الملكية. وعمل بحكم منصبه على رواج وإشاعة دراسة آينشتين داخل الجمعية. وكانت هذه بداية لدور إدنغتون كرجل طليعي تصدر لعرض النظرية العامة داخل العالم المتحدث بالإنجليزية. ونعرف أن نظرية آينشتين تنبأت بأمور كان من بينها أن الضوء الصادر عن نجوم بعيدة ينحني بقدر معين حال مروره قريبا من الشمس، ومن ثم ينقل المواقع الظاهرية لتلك النجوم على صفحة السماء. ويمكن مشاهدة ذلك أثناء الكسوف. وتصادف أن كان من المتوقع حدوث كسوف العام 1919، ولكن لن يكون بالإمكان مشاهدته في أوروبا. وبدأت الجمعية الفلكية الملكية في العام 1917 تضع خطط طوارئ لإرسال بعثتين استكشافيتين لرصد وتصوير الكسوف من البرازيل ومن جزيرة برينسيب عند الشاطئ الغربي لأفريقيا، إذا انتهت الحرب في هذا التاريخ.

ولم تكن في ذلك الوقت أي أسباب واضحة تبرر سرعة انتهاء الحرب، فضلا عن أن الخسائر على الجبهة أصبحت فادحة مما اضطر الحكومة البريطانية إلى فرض نظام التجنيد الإلزامي على كل الذكور الأصحاء. وعلى الرغم من أن إدنغتون بلغ الرابعة والثلاثين ويتمتع بصحة جسدية جيدة، فإنه يمثل بوضوح قيمة أكبر لبريطانيا كعالم أكثر منه جنديا قابعا في الخنادق (وإن كنا لا ندعم الحجة الزاعمة أن العلماء جديرون بمعاملة خاصة، فإن كل امرئ على الجبهة له نفع أفضل منه في الوطن). وتم عرض الأمر على الجهة الرسمية المنوط بها الحفاظ على القانون والنظام داخل بريطانيا، وتولى عرض القضية فريق من العلماء البارزين، وتوجهوا إلى إدنغتون بالنصح بأن من الأفضل اعفاءه من التجنيد تأسيسا على قيمته للمجتمع العلمي. وأجاب بأنه لو لم يكن إعفاؤه لهذه الأسباب فإنه كان سيطالب بالإعفاء تأسيسا على أسباب ضميرية، وأثارت إجابته غضب الموظفين في الإدارة الحكومية المسؤولة. وتمثل أول رد فعل لذلك القول إن إدنغتون إذا كان يريد أن يكون أول معارض للحرب لأسباب ضميرية فأولى

بــه أن يلحق بأصدقائه الكويكر في العمــل الزراعي، وهو الأمر الذي كان مهيأ له تماما. ولكن فرانك ديســون أحــد علماء الفلك بالجمعية الملكيــة قام بمناورة ذكية أنقذت وجه الحاضرين بأن أقنع المســؤولين الرســميين في الإدارة الحكوميــة بتجنيد إدنغتون شــريطة أن يتولى قيــادة بعثة استكشــافية حكومية لاختبار نبوءة آينشــتين عن انحناءة الضوء. ولقد كان خيارا مثاليا على أي حال، إذ تتوافر له خبرة مباشرة في دراســة الكســوف من موقع البرازيل خلال هذه الفترة مع مرصد غرينتــش الملكي؛ ولكن هذه الحيل خلقت أساســا للقــول إن إدنغتون كان في الحقيقة «الإنســان الذي أقام البرهان على صواب آينشتين». وذهب هذه المرة إلى برينسيب، ولكن قصدت البرازيل بعثة استكشافية مزدوجة وكان إدنغتون المســؤول بالكامل عــن معالجة وتحليل النتائج. وســوف تتضح بعد قليل أهمية عمليات رصد الكسوف، ولكن لنعرض أولا المساهمة الرئيسية الثانية التي أسداها إدنغتون إلى العلم.

مع عودة العالم إلى حالتــه الطبيعية بانتهاء الحرب العالمية الأولى، جمع إدنغتون في مطلع عشــرينيات القرن كل المعلومات التي تيسرت له عن كتل مواد النجوم وربطها بالمعلومات المستمدة من الرسم التخطيطي لهرتزســبرنغ - رسل RH لكي يبين أن النجوم الأكثر نصوعا هي الأكثر كثافة. مثال ذلك أن نجما في المتوالية الرئيســية كتلته خمسة وعشرين ضعفا لكتلة الشــمس درجة نصوعه 400 ضعف لنصوع الشمس. وبدا ذلــك منطقيا. يحتفظ النجم بوجوده عاليــا بفضل الضغط المتولد في باطنه، الذي يعادل قوة دفع الجاذبية إلى الداخل. وكلما كان أكثر كثافة زاد الــوزن الضاغط إلــى الداخل وزاد الضغط الــذي يتولد عنه. ولا يستطيع أن يفعل ذلك إلا بإحراق وقوده - أيا كان هذا الوقود - بسرعة أكبر، ومن ثم يولد حرارة أكثر، تنطلق من ســطح النجم في صورة ضوء أكثر بحيث نراه نحن على هذا النحو. وأن الفيزياء التي تجري بســيطة عمليا، وذلك لأســباب أســلفنا ذكرها عند الحديث عن مصير البنيات المعقــدة في ظل ظروف درجة حرارة عاليــة وضغط عال، بحيث يمكن حســاب درجة حــرارة باطن النجم تأسيســا على مشــاهداتنا لدرجة

النصوع والكتلة والحجم (وهو ما يتحدد على أســـاس النصوع إذا كانت المســـافة معروفة، وكذلك على أساس الموقع في الرسم التخطيطي HR حال اكتشـــافنا للعلاقات). ولم يكد إدنغتون يفـــرغ من تحديد الأرقام، حتـــى توصل إلى رؤية تعبر عن بصيرة نافذة - إن جميع نجوم المتوالية الرئيسية لها درجة الحرارة المركزية نفسها، على الرغم من أنها تشتمل على مدى واســـع من الكتل تتراوح ما بين عشـــرة أضعاف كتلة الشمس نزولا حتى عشـــر كتلة الشـــمس. ويبدو وكأن النجوم مدمج فيها مثبت تلقائي لدرجة الحرارة «ترموســـتات»؛ مثل كرة غاز تتقلص إلى ما دون وزنها وتزداد سخونة في الداخل مع تحول طاقة الجاذبية إلى حرارة ولا يحدث شيء لإيقاف هذه العملية إلى حين بلوغ درجة الحرارة الحرجة، وعندها يعمل الترموســـتات ليمد الجســـم بمدد لا يفنـــى (وفق معايير البشر) من الطاقة. ومع حلول عشرينيات القرن، بدا واضحا (لإدنغتون على الأقل) من أين تصدر هذه الطاقة.

ونحن نعرف أنه في القرن التاســـع عشـــر دار مـــا يمكن وصفه بجدل شـــرس بين علماء الجيولوجيا والتطور من ناحية وعلماء الفيزياء من ناحية أخرى حول عمر الأرض والشـــمس. وأوضح علمـــاء الفيزياء، عن حق، من أمثال وليام تومســـون (لـــورد كلفين) أن العلم وقتذاك ليســـت لديه معرفة بالوســـيلة التي تجعل الشمس ســـاطعة تصدر عنها الأشعة طوال الأحقاب الطويلة واللازمة لتفســـير تطور الحياة على الأرض. كانوا على حق، ولكن قبل نهاية القرن التاســـع عشـــر تم، كما عرفنا، اكتشـــاف مصادر للطاقة جديـــدة غير معروفـــة للعلم في صورة نظائر مشـــعة. وأدى هذا في مطلع القرن العشرين إلى تصور نظري يفيد بأن نجما مثل الشمس يمكن أن يظل محتفظـــا بحرارته إذا ما احتوى على راديـــوم - إذ إن 3.6 غرام فقط من الراديوم النقي في كل متر مكعب من حجم الشـــمس كاف لتحقيق الهدف، وناقش هذه الفكرة أســـتاذ إدنغتون ســـابقا جورج داروين. ولكن سرعان ما تبـــين أن نصف عمر الراديوم أقصر كثيـــرا بالقياس إلى هذه المهمة، ولكن بدا واضحا أن «طاقة مكونات الذرة» subatomic energy لديها بالضرورة مفتاح لضمان طول حياة الشمس والنجوم. ولكن مع التطورات التي شهدتها

فيزياء مكونات الذرة subatomic physics على مدى العقدين الأول والثاني من القرن العشرين، ومع تسلح إدنغتون بالنظرية النسبية الخاصة لآينشتين استطاع إدنغتون منذ 1920 أن يوضح الدلالات الضمنية للجمهور في الاجتماع السنوي للرابطة البريطانية لتقدم العلم حين قال:

> يستمد النجم مخزونا هائلا من الطاقة بوسائل غير معروفة لنا. وهذا المخزون لا يمكن أن يكون شيئا آخر غير طاقة دون ذرية، والموجودة، كما نعرف، بوفرة في كل المواد؛ ويراودنا أحيانا حلم بأن يعرف الإنسان يوما ما كيف يطلقها ويفيد بها في خدمته. إن المستودع يكاد يكون غير قابل للنفاد، إذا ما تيسر لنا فقط أن نستكشفه لنستغله. وتحتوي الشمس على ما يكفي لاطراد عطائها من الحرارة على مدى 15 بليون سنة.

واستطرد ليبرر ما ذهب إليه:

> لقد بين (فرنسيس) أستون بوضوح أن كتلة ذرة الهليوم أقل من كتل ذرات الهيدروجين الأربعة التي تدخلها – ويتفق علماء الكيمياء معه في هذا الصدد. وثمة فاقد من الكتلة في عملية التوليف تصل إلى جزء من 120، حيث الوزن الذري للهيدروجين 1.008 والوزن الذري للهليوم فقط 4. لن أطيل بشأن برهانه الجيد في هذا الشأن، حيث بالإمكان من دون شك الاستماع إليه هو ليحدثكم عنه. نعرف الآن أن المادة لا تفنى، وأن النقص يمثل فقط كتلة الطاقة الكهربية التي انطلقت خلال عملية التحول. لذلك يمكننا أن نحسب كمية الطاقة المنطلقة عند اصطناع الهليوم من الهيدروجين. وإذا كان 5 في المائة من كتلة نجم مؤلفة بداية من ذرات هيدروجين، والآخذة بالتدريج في التجمع لتكوين عناصر أكثر تركيبا، فإن جماع الحرارة المنطلقة ستكون أكثر من كافية للوفاء باحتياجاتنا ولن نكون في حاجة إلى مزيد من البحث عن مصدر طاقة أحد النجوم.

كان إدنغتون يسير على النهج الصحيح، ولكن الأمر تطلب عقودا حتى نعرف تفاصيل إطلاق الطاقة الكامنة في النجوم لاستثمارها، وسبب ذلك من ناحية سوء الفهم الذي تتضمنه الإشارة إلى «5 في المائة» من نجم والمكونة من هيدروجين؛ ومن ناحية أخرى أن عملية الحساب الكاملة تستلزم ميكانيكا الكوانتم التي لم تكن قد تطورت بالكامل حتى نهاية عشرينيات القرن. وسوف نعود إلى هذه القصة في المكان المناسب؛ ولكننا نقول هنا إن علم فلك النجوم توصل مع حلول عشرينيات القرن إلى طريقة ثانية لقياس المسافات الفاصلة بيننا وبين بعض النجوم على الأقل، كما توصل إلى تلسكوب جديد لتطبيق التقنية الجديدة؛ وكان من شأن الجمع بين الأمرين معا سرعة إحداث تغير جذري آخر في نظرة البشرية لمكاننا في الكون. وأبان دليل المتوالية الرئيسية أن الشمس ما هي إلا نجم عادي، وليست حدثا خاصا في درب التبانة. كذلك فإن الدليل الذي سيكشف عن نفسه من خلال مؤشرات المسافة الجديدة هو أن درب التبانة ذاته ليس شيئا خاصا في الكون.

وجدير بالذكر أن علاقة نصوع اللون المبينة في الرسم التخطيطي HR ذاته تمثل دليلا لنا عن المسافات إلى النجوم. فإذا قسنا لون النجم، يصبح بالإمكان معرفة الموقع الخاص به ضمن المتوالية الرئيسية، ويدلنا هذا على درجة النصوع المطلق للنجم. معنى هذا أن كل المطلوب هو قياس النصوع الظاهري لاستنتاج بعده عنا. هذا على الأقل من حيث المبدأ. وطبيعي أن الأمور ليست بهذه السهولة في التطبيق، خاصة بسبب الغبار في الفضاء على امتداد خط الرؤية إلى النجم، إذ إن الغبار يقلل من ضوء النجم (بسبب انطفائه) ويجعله يبدو أكثر احمرارا - وهذه عملية معروفة باسم الميل إلى الحمرة، ولا حيلة لنا إزاء الزحزحة الحمراء. ويتدخل هذا في عمليات رصد كل من اللون والنصوع، وإن كان بالإمكان في حالات كثيرة التخفيف من هذه الآثار، على الأقل بشكل تقريبي، عن طريق رصد نجوم مختلفة في اتجاه واحد تقريبا في الفضاء. ولكن الخطوة الحاسمة في سبيل استحداث مقياس

المسافات الكونية تحققت من خلال نوع من البحث مختلف تماما، وبدأت واستمرت تقريبا في الفترة نفسها التي كان فيها هرتزسبرنغ ورسل عاكفين على تطوير أفكارهما عن علاقة النصوع - اللون.

تحقق الاكتشاف نتيجة للبحث في نجوم سماوات نصف الكرة الجنوبي، والذي تم تحت إشراف وتوجيه إدوارد بيكرنغ (1846 - 1919)، الذي أصبح مديرا لمرصد جامعة هارفارد العام 1826. تميز بيكرنغ بأنه مدمن فهرسة وإعداد قوائم، وكان منهل إلهام للجيل التالي من الفلكيين الأمريكيين، ولكن مساهمته الأهم شأنا لعلم الفلك تمثل حصاد عملية مسح للسماوات الجنوبية، والتي نفذها له من بيرو أخوه وليام بيكرنغ (1858 - 1938). وجدير بالذكر أن فرقا من النساء هن اللاتي أنجزن الوظيفة الفعلية للفهرسة -التسجيل الدقيق، باستخدام الأيدي العاملة القلم والحبر للتسجيل في دفاتر ضخمة، وتحديد مواقع ودرجات نصوع جميع النجوم المفردة على ألواح تصوير ضوئي، وإرسالها إلى هارفارد - وقد كنّ في تلك الأيام الأقل استثارة، والأرخص من الرجال، ولا ينظر إليهن في الغالب كصاحبات قدرات فكرية تؤهلهن لأي عمل إبداعي. وشجع بيكرنغ، اعتمادا على ثقته الخاصة، بعض هؤلاء النسوة ممن كشفن عن قدرة وأهلية في الفلك للعمل في مجال البحث الحقيقي، وهيأ لبعضهن فرصة الدخول إلى العالم الأكاديمي القاصر حصرا على الرجال وقتذاك. وتدعى إحدى هؤلاء النساء هنريتا سوان ليفيت (1868 - 1921) التي التحقت بفريق هارفارد العام 1895 (أول الأمر كمتطوعة من دون أجر، نظرا إلى حماستها لعلم الفلك، على الرغم من أنها أصبحت فيما بعد رئيسة لإدارة قياس شدة الضوء «الفوتومترية» بالتصوير الضوئي). وأناط بها بيكرنغ مهمة تحديد النجوم المتغيرة، التي يتغير لمعانها بسبب تغيرات داخلية أو خسوف دوري في السماوات الجنوبية، وهي المهمة التي لا يمكن تأديتها إلا عن طريق المقارنة بين لوحات تصوير فوتوغرافي لمنطقة واحدة يجري التقاطها في فترات زمنية مختلفة لاستبيان إذا ما كان أي من النجوم غير مظهره.

وتحـــدث هذه التغيرات لســـببين. أولا يمكن أن يحـــدث التغير لأن «النجـــم» هو فعليا منظومـــة ثنائية، ونحن نرى خســـوفات جزئية كأن نجما يتحرك أمام الآخر - وســـبق أن عرفنا أن دراســـة الثنائيات تمثل مفتاحـــا لقياس كتل النجوم. ثانيا، يمكن أن تكون النجوم متغيرة حقيقة بطبيعتهـــا، وتتغير درجة نصوعها نتيجة تغير في بنيتها الباطنية، وهذا شـــيء مهم في حد ذاتـــه. ونحن نعرف أن بعض هـــذه النجوم تتضخم وتتقلص وتتداخل في نفســـها وتنبض أي تصدر عنها نبضات في صورة دورة، متكـــررة مع تغير منتظم للضوء الصـــادر عنها أثناء ذلك. وتعرف إحـــدى فئات هـــذه النجوم النوابض باســـم كوكبة قيفـــاوس أو الملتهب Cepheids، وهي كوكبة شمالية قرب كوكبة ذات الكرسي والتنين. وجاء اسمها على غرار المثال الأولى لنوعها، وهو نجم معروف باسم قيفاوس دلتـــا، الذي حدده كنجـــم متغير عالم الفلك الإنجليـــزي جون غودريك العـــام 1784، قبل عامين من تاريخ وفاته وعمره 21 ســـنة. وتكشـــف جميع كوكبة قيفاوس عن نمط مميز من النصوع والإعتام المتكرر، ولكن لبعضها عمليات نصوع وإعتام على فترات قصيرة قد تكون يوما واحدا أو ما شابه، بينما تتكرر هذه الخاصية على فترات تزيد على مائة يوم.

مقياس بعد قيفاوس

اشـــتملت لوحات التصوير الضوئي المأخوذة في بيرو والتي درستها ليفيت في هارفارد على ســـحابتين من النجوم تعرفان باســـم ســـحابة ماجلان الصغرى وسحابة ماجلان الكبرى، وقد عرفنا الآن أنهما مجرتان صغيرتـــان لأقمار مرتبطتان بســـديم مجرة درب التبانة الذي نســـكنه. ولاحظـــت ليفيت أثناء متابعتها الدراســـية الـــدؤوب أن كوكبة قيفاوس في ســـحابة ماجلان الصغرى (SMC) كشفت عن نمط شامل للسلوك حيث المجموعات الأكثر نصوعا من قيفاوس (توزع نصوعها بالتســـاوي على نطاق دائـــرة كاملة) تتحرك ببطء أكثر في دورتها. وحققت ليفيت اكتشـــافها المبدئي وسجلته العام 1908، ولكن في العام 1912 توافرت لديهـــا معلومات كافية لتؤكد علاقة فترة الســـطوع فـــي صيغة معادلة

رياضية، تأسست على دراستها لخمسة وعشرين قيفاوس في سحابة ماجلان الصغرى. وأدركت أن السبب في أن العلاقة واضحة بجلاء هو أن سحابة ماجلان الصغرى بعيدة للغاية، بحيث تعتبر النجوم فيها عمليا على بعد مسافة واحدة منا، ولهذا فإن الضوء الصادر من كل منها يضعف بالقدر نفسه في الطريق إلى مناظيرنا التلسكوبية. وطبيعي أن هناك اختلافات في المسافات الفاصلة بيننا وبين كل نجم على حدة في سحابة مجلان الصغرى. وقد تبلغ عشرات وربما مئات السنوات الضوئية، هذا من حيث العبارات المطلقة. ولكن هذه الاختلافات بالنسبة إلى بعد سحابة ماجلان الصغرى ليست سوى نسبة مئوية صغيرة من المسافة إلى الأرض، ولهذا فإنها تؤثر في النصوع الظاهري للنجوم بنسبة كسر صغير فقط من الإعتام الشامل الناجم عن بعد مسافتها عنا. واكتشفت ليفيت علاقة رياضية واضحة بين النصوع الظاهري لأحد نجوم كوكبة قيفاوس في سحابة ماجلان الصغرى وبين دورته، بحيث إن نجما، كمثال، في كوكبة قيفاوس له دورة ثلاثة أيام تكون درجة نصوعه سدس نصوع قيفاوس آخر دورته 30 يوما. وليس لهذا سوى معنى واحد وهو أن النصوع المطلق لكوكبة قيفاوس مرتبط ببعضه بالطريقة نفسها، نظرا إلى أن تأثير المسافة واحد في جوهره بالنسبة إلى جميع نجوم كوكبة قيفاوس في سحابة مجلان الصغري. وأصبح كل المطلوب الآن هو إيجاد المسافة إلى نجم أو نجمين في كوكبة قيفاوس المجاورة لنا بحيث يمكن تحديد درجة النصوع المطلق لها، وهنا يمكن استنتاج درجات النصوع المطلقة لكل بقية مجموعة قيفاوس (ومن ثم مسافة كل منها)، وهو الاستنتاج الذي توصل إليه من قانون دورة الجلاء أو تدفق الضياء period - luminosity law الذي اكتشفته ليفيت.

كان هرتزسبرنغ في الحقيقة هو أول من قاس المسافات إلى النجوم قيفاوس القريبة منا، وذلك في العام 1913، وحدد درجات القياس اللازمة لقياس المسافة إلى قيفاوس(*). ولكن، وكما هي الحال في الفلك، زخرت عمليات الرصد بالكثير من الصعوبات، ليست أقلها

(*) وكان رسل وتلميذه هارلو شابلي، الذي سنعرض له بعد قليل، هما أول من أدخلا تحسينات على هذه التقديرات الخاصة بالمسافات العام 1914.

مشكلات خاصة بالخمود والإحمرار. وتضمنت قياسات هرتزسبرنغ أن المسافة إلى سحابة ماجلان الصغرى قدرها 30.000 سنة ضوئية (نحو 10.000 فرسخ نجمي)؛ ويبلغ التقدير الحديث الذي وضع في الاعتبار ظاهرتي الخمود والاحمرار، التي لم تكن في الحسبان، 170.000 سنة ضوئية (52.000 فرسخا نجميا). وعند هذه المسافة، فلو أن نجمين قيفاوس بعيدان كلاهما عن الآخر بمسافة 1000 سنة ضوئية فإن هذا البعد لا يمثل سوى 0.6 في المائة من بعدهما عنا، وهو ما يمثل أثرا ضئيلا على درجة إعتامهما النسبي بسبب بعدهما. ويعتبر التقدير الذي توصل إليه هرتزسبرنغ، على الرغم من نقصه، أول مؤشر يدلنا على مدى الضخامة الهائلة للفضاء في الحقيقة. وطبيعي أن مقياس أبعاد قيفاوس ليس أقل أهمية في دراسة النجوم داخل درب التبانة عن أهميته في دراسة الكون في شموله. وأن بعض المجموعات العنقودية من النجوم، التي تجمعت معا في الفضاء، تحتوي على عشرات بل ومئات النجوم ذات الكتل المختلفة، والألوان ودرجات النصوع المختلفة. وإذا كان هناك نجم قيفاوس واحد في المجموعة، فسوف تصبح المسافة إلى جميع تلك النجوم معروفة، علاوة على ما يتضمنه هذا من فهم لخصائص النجوم، وأيضا، كمثال، إزالة ظاهرتي الاحمرار والخمود عند تحديد مواضعها بنقاط على الرسم التخطيطي لهرتزسبرنغ - رسل. ولكن كوكبة قيفاوس هي التي غيرت رؤيتنا وتقديرنا لمكاننا في الكون عند محاولة الغوص وسبر ما وراء درب التبانة.

نجوم قيفاوس والمسافات إلى المجرات الأخرى

أصبح سبر أعماق الكون ممكنا بفضل استحداث جيل جديد من التلسكوبات، وتحقق هذا أساسا نتيجة حماس رجل واحد يُدعى جورج أيليري هيل (1868 - 1938)، وهو عالم فلك أوتي موهبة إقناع أهل الخير للتصدق بكميات من المال والمهارات الإدارية لكي يشاهد الاستثمار الناجح لهذا المال في مجال بناء تلسكوبات ومراصد جديدة. وتم أولا في جامعة شيكاغو، ثم في مونت ويلسون في كاليفورنيا،

وأخيرا في مونت بالومار في كاليفورنيا. وجدير بالذكر أن الجهاز الأهم والأساســي في هذه المرحلة الخاصة من استكشاف الكون هو تلسكوب عاكس قطره 100 بوصة والمعروف باسم تلسكوب هوكر (على اسم من تبرع بثمنه)، والذي اكتمل بناؤه في مونت ويلســون العام 1918 ولايزال قيد الاســتعمال حتى اليوم (أو على الأصح حتى الليلة). ويعتبر أضخم تلســكوب على وجه الأرض على مدى 30 سنة، ساهم في تحول فهمنا عن الكون، وتولي العمل عليه أساســا اثنان هما إدوين هابل (1889 - 1953) وميلتون هوماسون (1891 - 1972).

ويتعــين عليك ألا تصدق كل ما تقرأه عن هابل الذي، بعبارة لا تخلو من كياســه، بالغ من إنجازاته الباكرة وألف قصصا عن قدراته الخارقة كرياضي، وادعائه أنه كان يوما محاميا ناجحا. بيد أن هذا لا يلهينا عن أهمية عمله في الفلك.

وأن أول مــن اســتفاد من كوكبة قيفاوس لعمــل خارطة لمجرة درب التبانة تشــبه الخارطة الحديثة هو هارلو شــابلي (1865 - 1972)، التلميذ الســابق لرســل، وحقق هذا العمل مع نهايــة العقد الثاني من القرن العشــرين. استخدم تلسكوبا عاكسا بقطر 60 بوصة على مونت ويلســون على مدى الأعوام من 1908 حتــى 1918. وهذا هو أضخم تلســكوب في العالم آنذاك. وكان شــابلي أول من اســتخدم التلسكوب ذي القطــر 100 بوصــة. ولكنــه انتقل ليعمل مديــرا لمرصد هارفارد كوليــج العــام 1921، وهكذا ضاعت منــه فرصة الاســتفادة الكاملة من الإمكانيات التي أتاحها له التلســكوب الجديــد، وأن بعض النجوم غير المعروفة لشــابلي والتي ظن أنهــا كوكبة قيفاوس هي بالفعل نجوم عائلــة أخرى نعرفها الآن باســم كوكبة نجوم القيثارة أو النســر الواقع Lyrae. وهذه سلوكها مماثل لسلوك نجوم كوكبة قيفاوس (مما يجعلها مؤشــرات مهمة للمســافات)، ولكن ذات علاقة مختلفة من حيث دورة تدفــق الضياء. وأمكن لحســن الحظ إلغاء بعــض الأخطاء التي وردت في عمليات شــابلي الحســابية نتيجة هذا الخلط، وسبب الأخطاء أنه لم يضع حســابا لظاهــرة الخمود. وبدا واضحا وقتــذاك (وكان الأمر

يــزداد وضوحا منذ أيام غاليليو وتوماس رايت) أن شــريط الضوء في سماء الليل والمعروف باسم درب التبانة هو منظومة مسطحة على شكل قرص، تحتوي على أعداد هائلة من النجوم، وأن الشمس ما هي إلا نجم واحد بين هذه الكثرة الهائلة. وســـاد ظن في قديم الزمان أن الشـــمس تحتـــل مركز قرص النجوم الذي يؤلــف درب التبانة. ولكن توجد أيضا تجمعات مركزة من النجوم، هي تقريبا منظومات كروية ومعروفة باسم تجمعات كروية موجودة فوق وتحت مســـتوى درب التبانة وتشغل حجما كرويا من الفضاء يمثل طوقا حول درب التبانة. واكتشـــف شابلي خلال إعداده لخارطة المسافات إلى التجمعات الكروية أين تتمركز هذه الكرة، وبين بما لا يدع مجالا للشـــك أن الشمس ليست هي مركز درب التبانة. وأوضحت قياساته بحلول العام 1920 أن درب التبانة ذاته عرضه نحو 100.000 فرســـخ نجمـــي، وأن مركز درب التبانة يبعـــد عنا 10.000 فرسخ نجمي (أكثر من 30.000 سنة ضوئية). ولاتزال أرقامه تشوشها مشـــكلة الخمود والخلط بين نجوم كوكبـــة القيثارة وبين كوكبة قيفاوس - ونحن نعرف الآن أن تقدير المســـافة إلى مركز درب التبانة قريب من الصواب (إذ الرقم الحديث 8000 - 9000 فرسخ نجمي)، ولكنه وضع تقديـــرا ضخما جدا لقطر المجـــرة (الذي نقدر عرضه الآن بـ 28.000 فرســـخ نجمي). كذلك فإن قرص درب التبانة ذاته لا يزيد سمكه على مائتي فرســـخ نجمي فقط - يعتبر فعليا رقيقا بالقياس إلى قطره. بيد أن الأرقام أقل أهمية من واقع أن شابلي عمل خفضا إضافيا في تقدير مكانة كوكبنا في الفضاء، إذ نزل بالشمس إلى موقع عادي داخل أحياء قرص مجرة درب التبانة، وباتت عضوا غير جليل الشأن ضمن منظومة تضم ما قدره عدة مئات البلايين من النجوم.

ومع هذا ســـاد الاعتقاد على نطاق واســـع في مطلع العشرينيات أن درب التبانـــة ذاتـــه له الهيمنة فـــي الكون. وعلى الرغـــم من وجود بقع غائمة من الضوء في سماء الليل (مثل سحابات ماجلان)، فإن الاعتقاد الســـائد أنها إمـــا منظومات صغيرة لأقمار تابعة لدرب التبانة (تشـــبه قليلا كويكبات كروية)، أو أنها ســـحابات غاز متوهج داخل درب التبانة.

غيــر أن قلة محدودة فقط مــن علماء الفلك، من بينهم الأمريكي هربر كورتيس (1872 - 1942) صاحب الصوت الأعلى، أكدوا أن الكثير من هذه الأســدمة الحلزونية Spiral nebulae هي بالفعل مجرات مستقلة بذاتهــا وبعيدة جدا، بحيث إن نجوما فيها يســتحيل التحقق منها حتى بأفضــل التلســكوبات المتاحة(*)، وأكدوا كذلــك أن درب التبانة أصغر كثيرا مما قدر شــابلي وأنه ليس سوى «كون بمنزلة جزيرة» بين مجرات كثيرة مماثلة ومنتشرة في الفضاء طولا وعرضا.

وههنا دخل هابل القصة. ففي شتاء عامي 1923 /1924، استخدم هابل تلسكوب هوكر قطره 100 بوصة واستطاع تحليل نجوم فردية في ســديم حلزوني ضخم يعرف باســم M 31 في اتجاه كوكبة أندروميدا Constellation Andromeda (ويشــار إليها أحيانا باســم الســديم أو مجــرة أندروميدا Andromeda Galaxy). والأفضل من ذلك ما أصابه بالذهول، إذ اســتطاع تحديد العديد من كوكبة قيفاوس في الســديم، وأن يحســب أبعادها التي بلغت 300.000 فرســخ نجمــي، أي قرابة مليون ســنة ضوئية؛ ولكن طبقا لنظام المعايرة الحديث للمســافة إلى قيفاوس، مع تقدير لمشكلات مثل الخمود، أصبحنا نعرف الآن أن مجرة أندروميدا أبعد من ذلك كثيرا، إذ تصل المســافة إلى 700.000 فرسخ نجمــي. وتابع هابل على الفور هذا الاكتشــاف وتبــين له وجود نجوم قيفاوس في أســدمة أخرى عديدة مماثلة، ممــا أكد صواب كورتيس. وتم اســتحداث تقنيات جديدة لقياس المســافات إلى المجرات، بما في ذلك عمليات رصد للنجوم المتفجرة، والمتجددات الأعظم supernovae، والتــي لها جميعها علــى وجه التقريــب نفس الحــد الأقصى المطلق للنصوع، وتأسيسا على ذلك أصبح واضحا أنه مثلما توجد مئات بلايين النجوم في درب التبانة توجــد كذلك مئات البلايين من المجرات داخل نطــاق الكون المرئــي الممتد على مدى بلايين الســنين الضوئية في كل الاتجاهــات. ومــن ثــم فــإن المنظومــة الشمســيــة لا تعدو مجرد ذرة

(*) مثلما أن نجوم درب التبانة يستحيل التحقق منها تفصيلا بالعين المجردة، ولم يتم «اكتشافها» إلا عندما حول غاليليو تلسكوبه في اتجاهها.

تافهة داخل هذا الاتساع الشاسع. ولكن لاتزال الخطوة الرئيسية لوضع خارطة للكون هي علاقة النصوع – المسافة بالنسبة إلى نجوم قيفاوس، وستتم على أساسها معايرة المؤشرات الثانوية للمسافة (مثل المتجددات الأعظم). ولكن لايزال تحفظ واحد خلفته الصعوبات السابقة الأولى والتي تسببت فيها مشكلات مثل مشكلة الخمود، والتي حرفت نظرتنا عن مكانتنا في الكون حتى تسعينيات القرن العشرين.

مثلما يوضح لنا مثال M 31، فإن مقياس المسافات الذي استخدمه هابل جعلنا نرى كل شيء أقرب مما هو في الحقيقة. إذ بالنسبة إلى مجرة من حجم معين (لنفرض الحجم المطلق نفسه لدرب التبانة ذاته)، كلما كانت أقرب كانت رقعة السماء التي تغطيها أكبر. أن ما يقيسه علماء الفلك في الحقيقة هو الحجم الزاوي angular size لمجرة في السماء، وإذا اعتقدوا أنها أقرب مما هي في الواقع فإنهم سيظنون أنها أصغر مما هي في الواقع. إن طائرة لعبة الأطفال مقابل وجهك أو طائرة نقل 747 آتية لتهبط يمكن لأي منهما تبدو في الحجم الزاوي نفسه؛ ولكن تخمين المرء لمدى ضخامة 747 بالقياس إلى اللعبة رهن تصورك لمدى بعد الطائرة. لذلك فإن التقليل من مسافات المجرات يعني أن أحجام جميع المجرات الأبعد من درب التبانة كان في البداية أقل من الواقع، وبدا أن مجرة درب التبانة هي أضخم شيء في الكون. ولكن هذا التصور تغير على مدى العقود بفضل تكرار عملية الصقل والتشذيب التدريجية لمقياس المسافات، غير أنه تأكد لنا أخيرا أن مجرتنا متوسطة الحجم(*)، وذلك في أواخر العقد الأخير من القرن العشرين، بعد أن استخدم تلسكوب الفضاء هابل المعلومات المتوافرة عن قيفاوس للوصول إلى تقدير دقيق للمسافات إلى عدد كبير من المجرات الحلزونية المماثلة لدرب التبانة.

وتابع هابل جهده لعامي 1923 - 1924، بمساعدة ميلتون هوماسون في أواخر العشرينيات ومطلع الثلاثينيات. ووسع من نطاق قياساته للمسافات الفاصلة بيننا وبين مجرات بعيدة في أعماق الكون إلى أبعد

(*) كنت عضوا في الفريق الذي أكد أخيرا أن درب التبانة ليس سوى مجرة عادية، وكان معي زميلي سيمون غودوين، بجامعة كارديف الآن، ومارتن هنري، بجامعة غلاسكو.

مدى ممكن بتلسكوب المائة بوصة. ونعرف أن أبعاد ڤيفاوس المباشرة يمكن فقط قياسها في اتجاه حفنة من المجرات القريبة نسبيا في ضوء المسافات على المجرات المعروفة، ولكنه على الرغم من هذا، استطاع معايرة معالم أخرى للمجرات بعامة، من مثل المتجددات الأعظم أو نصوع أشكال مميزة في الحلزونيات، واستخدامها مؤشرات ثانوية لبيان أبعاد مجرات أكثر بعدا، والتي لا يمكن فيها تحليل كوكبة ڤيفاوس حتى باستخدام المائة بوصة. وبينما هابل عاكف على عملية المسح هذه، حقق الاكتشاف الذي اقترن دائما باسمه - إذ اكتشف وجود علاقة بين المسافة إلى مجرة ما والزحزحة الحمراء في طيف الضوء الواصل إلينا منه.

ولنا أن نقول إن غلبة الزحزحات الحمراء في الضوء الآتي من «السديم» اكتشفها في الواقع فستو سليفر (1875 - 1969) في العقد الثاني من القرن العشرين، بينما كان يعمل في مرصد لوويل (في فلاغستاف - أريزونا) من خلال تلسكوب عاكس قطره 24 بوصة. وجدير بالذكر أن جهده للحصول على أطياف مثل هذه الأجرام الباهتة بالتصوير الفوتوغرافي، والذي استخدم فيه هذا التلسكوب، إنما كان يستخدم أحدث تكنولوجيا في عصره، وكان سليفر مقتنعا بأن هذه السدم المنتشرة مؤلفة بالضرورة من نجوم مفردة كثيرة بسبب التماثل بين أطيافها وأطياف النجوم بعامة. بيد أن معداته لم تكن عند المستوى اللازم لمهمة تحليل النجوم في هذه السدم، لذلك لم يتسن له اتخاذ الخطوة التي اتخذها هابل في عشرينيات القرن، وعجز عن قياس المسافات إلى السدم التي يدرسها. وبحلول العام 1925 قاس سليفر 39 زحزحة حمراء في السدم، وعثر فقط على زحزحتين زرقاويتين في الطيف. ولم يقس علماء الفلك الآخرين سوى أربع زحزحات حمراء، ولا زحزحة زرقاء، في المنظومات التي لم يدرسها بداية، على الرغم من أن راصدين آخرين أكدوا أكثر النتائج التي توصل إليها. وكان التفسير الطبيعي لهذه المعلومات أنها نتيجة لتأثير دوبلر، حيث أغلب السدم تتحرك بسرعة بعيدا عنا بينما تتحرك اثنتان تجاهنا. وشرع هابل وهوماسون في قياس المسافات إلى السدم التي تمكن سليفر من رصدها عن طريق تحليل الطيف علاوة على معلوماتهما التي حصلا

عليها بتحليل الطيف (هوماسون هو الذي فعل ذلك عمليا) وذلك لاختبار جهازهما وتأكيد النتائج التي توصل إليها سليفر. وعمدا بعد ذلك إلى توسيع نطاق هذا النوع من البحث ليشمل مجرات أخرى. ولم يكتشفا أي زحزحات زرقاء جديدة باستثناء القليل جدا المعروف سابقا(*). واكتشفا أن بعد مجرة ما يتناسب مع زحزحتها الحمراء، وهذه ظاهرة تسجلت العام 1929 وتعرف الآن باسم قانون هابل Hubble's Law، وتتمثل قيمة الاكتشاف بالنسبة إلى هابل في أنه مؤشر مسافات، والآن ليس عليه (هو أو هوماسون) سوى أن يقيس الزحزحة الحمراء لمجرة ما وبذا يمكن لأي منهما أن يستنتج المسافة إليه. ولكن الاكتشاف كشف عن أهمية أعمق كثيرا من ذلك، وهو ما أدركه سريعا عدد محدود من علماء الفلك الآخرين.

عرض موجز للنظرية النسبية العامة

تفسير الاكتشاف الذي اكتشفه هابل وهوماسون جاء على يد نظرية النسبية العامة لآينشتين، التي صدرت، كما عرفنا، العام 1916. والقسمة المميزة التي تجعلنا نصف هذه النظرية بالعامة (مقابل الطبيعة المقيدة لنظرية النسبية الخاصة) أنها تتعامل مع حالات التسارع، وليس فقط مع أجسام تتحرك في خطوط مستقيمة بسرعة ثابتة. ولكن تمثلت بصيرة آينشتين العظيمة في تقديره ألا تمايز بين التسارع والجاذبية. وقال «واتته بصيرته هذه بينما كان ذات يوم جالسا إلى مكتبه في مكتب براءات الاختراع في بيرن، وتصور لو أن شخصا يهوي من على سطح فسوف يكون منعدم الوزن ولن يشعر بقوة جذب الجاذبية - إذ إن تسارع الحركة إلى أسفل تزيل الشعور بالثقل أو الوزن لأن الاثنين متكافئان تماما. وقد جربنا جميعا تكافؤ التسارع والجاذبية داخل المصعد - إذ عندما يبدأ المصعد في التحرك إلى أعلى نجد أنفسنا مضغوطين إلى أرضية المصعد، ونشعر بأننا أثقل وزنا، كذلك عندما يتوقف المصعد نشعر

(*) المجرتان اللتان بهما زحزحة زرقاء، إحداهما هي أندروميدا، وهي قريبة جدا منا وفقا للمقياس الكوني وتتحرك في طريقنا تحت تأثير الجاذبية؛ ويحجب هذا التوسع الكوني في ضوء المقاييس المحلية النسبية.

بأننا أخف وزنا وهو يقلل سـرعته، ونلحظ في حالة المصاعد السـريعة أننا نشـب على أطـراف أصابع القدمين نتيجة لذلـك. وتمثلت عبقرية آينشـتين في محاولته إيجاد مجموعة معادلات تصف كلا من التسـارع والجاذبية في حزمة واحدة - وكذلك كل نظرية النسبية الخاصة، وأيضا، فـي الحقيقة كل ميكانيكا نيوتن، كحـالات خاصة للنظرية العامة. وهذا ليس صحيحا، على الرغم من صرخات العناوين الرئيسـة للصحف على إثر بعثة إدنغتون لاستكشـاف الخسـوف، والتي قالت إن نظرية آينشتين أسـقطت إنجازات نيوتن. ولاتزال الجاذبيـة التي قال بها نيوتن (خاصة قانون التربيع العكسـي) وصفا مفيدا وناجحا لطريقة عمل الكون، فيما عـدا الظروف المتطرفة. وحري أن نعـرف أن أي نظرية أفضل لا بد أن تعيـد جميع نجاحات نظرية نيوتن، عـلاوة على الجديد، بما يعني لو أن نظرية أفضل من نظريـة آينشـتين ظهـرت لا بد أن تفسر لنا كل شيء تفسره النظرية العامة، علاوة على الجديد الذي تضيفه هي.

قضى آينشـتين عشـر سـنوات لتطوير النظرية العامة تأسيسا على النظريـة الخاصة، علـى الرغم من أنه أنجز أمورا أخـرى كثيرة في تلك السـنين مـن 1905 إلـى 1915، وكان قد ترك مكتب بـراءات الاختراع العـام 1909 ليتفرغ للعمل الأكاديمي في جامعة زيورخ، ونذر جهدا طويلا لفيزياء الكوانتـم حتى العام 1911، حيث عمل لفترة وجيزة في براغ قبل توليه منصبا في المعهد الفدرالي السويسري للتكنولوجيا ETH في زيوريخ (الذي كان فيه طالبا كسـولا)، واسـتقر بعد ذلك في برلين العام 1914. وعرف مفتاح الرياضيات التي دعمت نظرية النسبية العامة وقتما كان في زيوريخ العام 1912، على يدي صديق قديم هو مارسيل غروسمان (1878 - 1936)، وكان غروسـمان زميلا له في المعهد السويسـري للتكنولوجيا وأعار آينشـتين دفتر محاضراته لينسـخ منها آينشـتين المحاضرات التي كان يضيق بالاسـتماع إليها. وبحلول العام 1912، قبل آينشـتين العرض الذي قدمه هرمان منكوفسكي لنظرية النسبية الخاصة في ضوء هندسة الزمكان المسـتوى رباعي الأبعاد وهـو الآن بحاجة إلى صيغة أكثر تعميما للهندسة تتسق مع صيغته الأكثر عمومية عن الفيزياء، وهنا كان غروسمان

الذي أشار عليه بجهود برنار ريمان (1826 - 1866) عالم الرياضيات في القرن التاسع عشر الذي درس هندسة السطوح المنحنية واستحدث أدوات رياضية لوصف هذا النوع من الهندسة (المسمى الهندسة اللاإقليدية non-Euclidean geometry، نظرا إلى أن إقليدس تعامل مع السطوح المستوية) متعددة الأبعاد حسبما تشاء.

والجدير بالذكر أن هذا النوع من البحث الرياضي للهندسة اللاإقليدية له تاريخ طويل. إذ في مطلع القرن التاسع عشر، اشتغل كارل فريدريش غوس (1777 - 1855) على الخواص الهندسية التي يمكن فيها، كمثال، للخطوط المتوازية أن تتقاطع معا (وسطح الأرض مثال لذلك، كما توضح خطوط العرض، المتوازية عند خط الاستواء المتقاطعة عند القطبين). لم ينشر غوس كل عمله، حتى أن القسط الأكبر منه عرفناه بعد وفاته، على الرغم من أنه هو الذي سك المصطلح الذي ترجمته «هندسة لا إقليدية». ولكن بعض إنجازاته في هذا المجال أعيد اكتشافها على أيدي كل من المجري غانوس بولياي (1802 - 1860) والروسي نيكولاي لوباتشيفسكي (1793 - 1856)، وقد كان الاثنان يعملان في استقلال كل منهما عن الآخر خلال عشرينيات وثلاثينيات القرن التاسع عشر؛ بيد أن هذه النماذج، التي لم تكن معروفة وقتذاك لدى غوس، عالجت فقط حالة محددة في الهندسة اللاإقليدية، مثل هندسة سطح كرة. وتمثل إنجاز ريمان المميز في إيجاد معالجة رياضية عامة تكون أساسا لكل الهندسة وتسمح بمدى من الأوصاف الرياضية المختلفة التي تدخل في نطاق هندسات مختلفة، والتي تكون كلها متكافئة الصواب، ومع الهندسة الإقليدية المألوفة من حياتنا اليومية كمثال. وعرض ريمان مساهمته هذه في محاضرة له ألقاها في جامعة غوتنغن العام 1854، وعرض هذه الأفكار على العالم المتحدث بالإنجليزية عالم الرياضيات البريطاني وليام كليفورد (1845 - 1879)، الذي ترجم كتاب ريمان (الذي صدر فقط العام 1867، قبل العام واحد من وفاة ريمان المبكرة بسبب مرض السل)، واستخدمها كليفورد أساسا لتأمل نظري يفيد بأن أفضل طريقة لوصف الكون في شموله أن يكون في

ضوء المكان المنحني. وفي العام 1870 قرأ بحثا أمام الجمعية الفلسفية في كيمبريدج، وتحدث هنا عن «التباين في انحناء المكان» وقدم تناظرا بين حالين، إذ قال «إن الأجزاء الصغيرة من المكان هي في الواقع ذات طبيعة مناظرة للتلال الصغيرة على سطح هو في المتوسط سطح مستو؛ معنى هذا أن القوانين العادية للهندسة لا تصدق عليها». ولكن اليوم، واقتداء بآينشتين، تأخذ عملية المناظرة طريقا عكسيا تماما - تركزات المادة، مثل الشمس، نراها وكأنها تصنع غمازات في زمكان كون مسطح مختلف(*). ولكن من المفيد أن نعود ونذكر هنا بالطريقة التي يتقدم بها العلم، جزءا جزءا، وليس من خلال جهود أفراد منعزلين، ويتجلى هذا في أن كليفورد قدم تصوره لهذا التناظر قبل ميلاد آينشتين بعشر سنوات. وتوفي كليفورد (بداء السل) في العام نفسه الذي ولد فيه آينشتين، 1879، ولم يطور أفكاره أبدا لكي تكتمل. ولكن حينما اعتلى آينشتين المسرح، كان الوقت قد نضج تماما لميلاد النظرية العامة، وعلى الرغم من أن مساهمته وحي إلهام، إلا أنها ليست عملا منعزلا لعبقري كما يصورها الناس كثيرا.

تصف النظرية النسبية العامة العلاقة بين الزمكان والمادة، حيث الجاذبية هي التفاعل الذي يربط الاثنين. إن وجود المادة يحني الزمكان، والطريقة التي تتبع بها الأجسام المادية (أو حتى الضوء) الانحناءات في الزمكان هي ما يظهر لنا في صورة جاذبية. وأبلغ وأقصر موجز يعبر عن ذلك هو القول المأثور «المادة تقول للزمكان كيف ينحني؛ والزمكان يقول للمادة كيف تتحرك». وطبيعي أن آينشتين أراد تطبيق معادلاته على أكبر تجمع للمادة والمكان والزمان - ألا وهو الكون. وهذا هو ما فعله فور استكمال النظرية العامة، ونشر النتائج في العام 1917. واشتملت المعادلات التي اكتشفها على قسمة واحدة محيرة وغير متوقعة. ذلك أنها في صورتها الأصلية، لم تسمح لإمكانية كون إستاتيكي. وأكدت المعادلات أن المكان ذاته يتعين أن يكون في حالة

(*) تتنبأ نظرية آينشتين بالحجم الدقيق لهذه الغمازات، ومن ثم إلى أي درجة ينحني الضوء وهو يتبع مسارا ذا أقل قدر من المقاومة عند مروره قرب جرم سماوي مثل الشمس، ويبين هنا السبب لماذا تعتبر بعثة إدنغتون الاستكشافية لدراسة الكسوف في العام 1919 حدثا بالغ الأهمية.

تمدد مع مرور الزمن، أو انكماش، ولا يبقى ساكنا. وحري أن نتذكر أنه في هذا الوقت كان الاعتقاد السائد أن درب التبانة هو جوهريا كل الكون، ولا توجد أي علامات تدل على التمدد أو التقلص. وأن أول مجموعة محدودة من الزحزحات الحمراء للسدم قيست، ولكن لم يعرف أحد ماذا يعني ذلك، ولم يكن آينشتين على أي حال يعرف شيئا عن أعمال سليفر. لذلك أضاف مصطلحا جديدا إلى معادلاته يضبط ويثبت الكون الذي يصفونه بالثبات. ويمثل هذا الرمز الحرف اليوناني لامبدا (λ)، والذي يشار إليه غالبا بأنه الثابت الكوني Cosmological Constant، والذي يقول عنه آينشتين ما نصه «ضرورة هذا المصطلح ترجع إلى الرغبة في تهيئة إمكانية الوزع شبه الإستاتيكي للمادة، وفق مقتضى دافع السرعات الصغيرة للنجوم». وواقع الأمر أن من الخطأ الإشارة إلى «الثابت الكوني». وتسمح معادلات آينشتين للمرء بأن يختار قيما مختلفة من مصطلح لامبدا، والتي يجعل بعضها نموذج الكون يتمدد أسرع، أو على الأقل نموذج يثبته والبعض الآخر يجعله يتقلص. ولكن آينشتين اعتقد أنه كشف وصفا رياضيا موحدا وفريدا للمادة والزمكان والذي يضارع الكون المعروف في العام 1917.

الكون المتمدد

ولكن ما أن أصبحت معادلات النظرية العامة معروفة للجميع، حتى استخدمها رياضيون آخرون لوصف أكوان من نموذج مختلف. كذلك في العام 1917 اكتشف فيلم دو سيتر في هولندا حلا لمعادلات آينشتين يصف كونا يتمدد أضعافا مضاعفة وبسرعة، بحيث إنه إذا تضاعفت المسافة بين جسيمين بعد زمن معين، فإنها تبلغ أربعة أضعاف في الفترة الزمنية التالية، المكافئة لها، وتزيد إلى ثمانية أضعاف في الفترة الزمنية التالية ثم إلى ستة عشر ضعفا في الفترة التالية وهكذا. واكتشف ألكسندر فريدمان (1888 - 1925) في روسيا مجموعة كاملة من الحلول للمعادلات، يصف بعضها الأكوان المتمددة ويصف بعضها الآخر أكوانا متقلصة، ونشر النتائج في العام 1922 (مما أثار ضيق آينشتين

الذي كان يأمل في أن تقدم معادلاته وصفا موحدا للكون). وكذلك الحال بالنسبة إلى عالم الفلك البلجيكي جورج ليميتر (1844 - 1966)، والذي رُسم قسيسا، فقد نشر بشكل مستقل حلولا مماثلة لمعادلات آينشتين في العام 1927. وجرت بعض الاتصالات بين هابل وليميتر، الذي زار الولايات المتحدة في منتصف عشرينيات القرن وشارك في لقاء 1925 الذي أُعلن خلاله اكتشاف كوكبة قيفاوس في سديم أندروميدا، وتولى الإعلان عنه هنري نوريس رسل (بالنيابة عن هابل الذي لم يكن حاضرا). وتراسل ليميتر أيضا مع آينشتين. وحدث بطريقة أو أخرى أنه مع بداية ثلاثينيات القرن نشر هابل وهوماسون الزحزحات الحمراء وأبعاد قرابة مائة مجرة توضح أن الزحزحة الحمراء تتناسب مع المسافة، هنا فقط أصبح واضحا أن الكون يتمدد، ولكن توافر أيضا وصف رياضي بما يعني عمليا حق الاختيار بين أي من النماذج الكونية لوصف التمدد.

ومن المهم أن نوضح أن الزحزحة الحمراء الكونية لا تحدث بسبب تحرك مجرات عبر الفضاء، ومن ثم هي ليست تأثير دوبلر. إنها تحدث بسبب تمدد الفضاء بين المجرات بمرور الزمن، تماما بالطريقة نفسها التي وصفتها معادلات آينشتين، ولكن آينشتين رفض تصديق ذلك في العام 1917. إذ لو أن الفضاء يتمدد أثناء الضوء المنبعث من مجرة أخرى في طريقه إلينا، إذن فإن الضوء ذاته سوف يتمدد إلى أطوال موجية أطول، وهو ما يعني بالنسبة إلى الضوء المرئي تحركه تجاه الطرف النهائي الأحمر في الطيف(*). إن وجود علاقة الزحزحة الحمراء - المسافة التي نرصدها (قانون هابل) يعني ضمنا أن الكون كان في الماضي أصغر، ليس بمعنى أن المجرات كانت ملتئمة مع بعضها في كومة داخل بحر من الفضاء الفارغ، ولكن لأنه لم يكن يوجد فضاء سواء بين المجرات أو «خارجها» - إذ لا خارج هناك. ويعني هذا ضمنا بداية الكون - مفهوم بغيض لدى كثيرين من علماء الفلك في ثلاثينيات القرن، بمن فيهم إدنغتون. ولكن هذا المفهوم تبناه بكل محبة ليميتر القسيس الكاثوليكي الروماني. واستخدم ليميتر فكرة ما سماه الذرة

(*) يمكن أن تصور هذا برسم خط مموج على شريط لدن سميك ثم تمده.

الأولية القديمة Primeval atom (أو أحيانا البويضة الكونية Cosmic egg) التي احتوت في البدء كل المادة التي في الكون على هيئة كتلة واحدة، أشبه بنواة ذرة فائقة، التي انفجرت ثم تشظت مثل قنبلة انشطارية جبارة. وأثارت الفكرة انتباها جماهيريا واسعا في ثلاثينيات القرن، بيد أن أغلبية علماء الفلك ساروا على نهج إدنغتون في التفكير بأن ليس في الإمكان القول بوجود بداية حقيقية للكون، وأن ما نسميه الآن نموذج الانفجار العظيم(*) Big bang model أصبح فقط جزءا من علم الفلك السائد (وكان يمثل وقتذاك جزءا صغيرا فقط) في أربعينيات القرن، وجاء ذلك اقتداء بجهود الروسي المتحمس المهاجر جورج غاموف (1904 - 1968) وزملائه في جامعتي جورج واشنطن وجونز هوبكنز في واشنطن العاصمة.

وباستثناء المشكلة التي واجهها كثيرون من الفلكيين في البداية إزاء قبول فكرة أن الكون له بداية، كانت هناك في الثلاثينيات والأربعينيات مشكلة أخرى تتعلق بهذا التفسير المباشر لعمليات الأرصاد التي قام بها هابل وهوماسون (وسرعان ما اقتدى بهما علماء فلك آخرون، على الرغم من أن فريق مونت ويلسون احتفظ بالميزة التكنولوجية التي يوفرها لهم تلسكوب المائة بوصة). وما فتئت تؤرقهم مشكلات الأرصاد التي أسلفنا ذكرها، والخلط بين كوكبة قيفاوس وأنواع أخرى من النجوم المتغيرة. ولقد كان مقياس المسافات الذي أعده هابل مع بداية الثلاثينيات فيه، كما نعرف الآن، خطأ يعادل تقريبا معامل عشرة. معنى هذا أنه تصور أن الكون يتمدد بأسرع عشرة أضعاف مما نراه الآن. ولكن إذا استخدمنا المعادلات الكونية المستمدة من النظرية النسبية العامة (هذه الحلول في أبسط أشكالها تتوافق مع نموذج الكون الذي استحدثه آينشتين ودوسيتر حين عملا معا في مطلع الثلاثينيات والمعروف الآن باسم نموذج آينشتين - سيتر)، فإننا نحسب مباشرة عمره منذ الانفجار العظيم تأسيسا على علاقة الزحزحة الحمراء - المسافة. ونظرا إلى أن معلومات هابل تضمنت أن الكون يتمدد بسرعة عشرة أضعاف،

(*) مصطلح سكه عالم الفلك فريد هويل في الأربعينيات قصد السخرية من نموذج يبغضه أشد البغض.

فإن الحسابات المبنية على هذه المعلومات أفادت بأن عمر الكون عشر فقط القيمة المحددة حديثا، أي تقل إلى درجة 1.2 مليار سنة - وهذا التقدير هو ثلث العمر المحدد بشكل صحيح للأرض. ويتضح هنا أن ثمة خطأ، وطبيعي أنه سيكون عسيرا على الكثيرين أخذ فكرة الذرة البدائية مأخذا جادا إلى أن تُحسم مشكلة العمر.

نموذج وضع الاستقرار للكون

في الحقيقة، كانت مشكلة العمر هذه أحد أهم الأسباب التي شغلت اهتمام فريد هويل (1915 - 2001) وهرمان بوندي (1919 -)(*) وتوماس غولد (1920 -)(**) خلال الأربعينيات، وتوصلوا إلى بديل عن الانفجار العظيم والمعروف بنموذج وضع الاستقرار. تصوروا في هذا النموذج أن الكون أبديٌّ خالد في توسع دائم، وإن بدا نفسه كما هو اليوم لأن مادة جديدة، في صورة ذرات الهيدروجين، في حالة خلق متصل في الفجوات المتخلفة عند تحرك وتباعد المجرات، بالمعدل نفسه الذي تتكون فيه مجرات جديدة تملأ الفجوات. وبدا هذا بديلا مفهوما وقابلا للحياة بدلا من نموذج الانفجار العظيم السائد في الخمسينيات والستينيات - إنه في نهاية المطاف تصور لا يثير دهشة، إذ لا غرابة في أن المادة تتخلق بشكل ثابت مطرد، ذرة واحدة كل مرة، بدلا من تصور أن جميع الذرات في الكون نشأت وتكونت خلال حدث واحد هو الانفجار العظيم. ولكن تحسن عمليات الأرصاد، بما في ذلك استحداث التقنيات الجديدة لعلم الفلك الإشعاعي Radio Astronomy خلال النصف الثاني من القرن العشرين، أوضحت لنا أن المجرات البعيدة جدا عبر الكون والتي نراها بالضوء (أو الموجات الإشعاعية) الذي تركته منذ زمن طويل، هي مجرات مختلفة عن المجرات القريبة، ويثبت هذا أن الكون في تغير مع مرور الزمن وأن المجرات تهرم. وأمكن حل مسألة العمر تدريجيا مع توافر تلسكوبات أفضل (خاصة التلسكوب العاكس

(*) توفي هرمان بوندي في كيمبريدج يوم 10 سبتمبر 2005 [المحررة].
(**) توفي توماس غولد في نيويورك يوم 22 يونيو 2004 [المحررة].

ذا القطـــر 200 بوصة على مونت بالومار، الذي اكتمل في العام 1947 وســـمي هيل تكريماً لصاحب الاسم(*)، وأمكن كذلك حسم الخلط بين كوكبة قيفاوس والأنـــواع الأخرى من النجوم المتغيرة. واســـتغرق الأمر وقتا طويلا لتضييق هوة عدم اليقين في تلك المسألة التي لاتزال صعبة والخاصة بقياس نســـبة تمدد الكون، بحيث انخفض معدل عدم اليقين فيهـــا إلى 10 في المائـــة - ولم يتحقق هذا في الحقيقـــة إلا في نهاية القرن العشـــرين بمساعدة تلســـكوب الفضاء هابل(**). ولكن مع نهاية القرن العشـــرين تحدد عمر الكون بدرجـــة معقولة من الدقة، وأنه يقع ما بين 13 مليارا و16 مليار ســـنة. وهذا أقدم كثيرا من أي شيء يمكن أن نحســـب عمره، بما في ذلك كوكب الأرض وأقدم النجوم(***). بيد أن هذا كله متروك لمستقبل بعيد عندما استهل غاموف وزملاؤه البحث العلمي المطرد في موضوع الانفجار العظيم ذاته.

طبيعة الانفجار العظيم

كان غامـــوف عمليا أحد تلامـــذة فريدمان في العشـــرينيات، وزار أيضـــا جامعة غوتنغن ومعمل كافنديـــش ومعهد نيلز بور في كوبنهاغن، وقدم في هذه الأماكن إسهامات مهمة لتطوير فيزياء الكوانتم. ونخص بالذكر أنه وضح كيف أن عدم اليقين الكوانتي هيأ إمكانية لجســـيمات ألفا للإفلات من النويات الذرية الإشـــعاعية في أثناء الانحلال الألفي Alpha decay مـــن خلال عملية تعرف باســـم حفر النفق Tunneling.

(*) جورج إيلير هيل.

(**) تفيد أحدث المعلومات بأن الكون الآن ربما بدأ في التمدد بســـرعة أكبر، مع افتراض ســـبب هو وجود ثابت كونـــي Cosmological Constant. وهذا لا يؤثر كثيرا في الحســـابات الخاصة في عمر الكون، ولكن المناقشـــات الخاصة بهذا العمل آخذة في التقدم، وإن خرجت عن نطاق كتابنا هذا.

(***) يمثل هذا عمليا اكتشـــافا عميقا للغاية. إذ تم حســـاب عمر الكون جوهريا بناء على النظرية النســـبية العامة، ويتعامل مع قوانين الفيزياء الخاصة بالمقياس الزمني الكبير جدا؛ ونعـــرف أن أعمار النجوم، كما ســـوف نرى فيما بعد، تم حســـابها أساســـا بناء على قوانين ميكانيـــكا الكوانتم، الفيزياء الخاصة بمقياس صغير جدا. بيد أن عمر الكون أقدم كثيرا من أعمار أقدم النجوم بما يسمح بالوقت اللازم لتكون النجوم الأوائل بعد الانفجار العظيم. وأن التوافق بين فيزياء المقياس الأضخم والمقياس الأصغر هو مؤشـــر مهم يدل على أن العلم كله قائم على أسس صلبة.

ونعرف أن جسـيمات ألفا تثبت في المكان بفعـل القوة النووية الكثيفة، ولديها في هذه النويات طاقة كافية تقريبا للإفلات، ولكن ليست كاملة، وفق النظرية الكلاسـيكية. ولكن نظرية الكوانتم تفيد بأن جسيما ألفيا مفردا في وسـعه أن «يقترض» طاقة كافية لأداء المهمة من عدم اليقين الكوانتـي، مادام أن العالم ليـس على يقين كامل بكميـة الطاقة التي فيه. ويفلت الجسـيم وكأنه حفر لنفسـه نفقا يؤدي به إلى الخروج من النواة، ثم يسـدد بعد ذلك الطاقة المقترضة قبـل أن يكون لدى العالم وقت للملاحظة أنه اقتـرض أصلا. ولكن من بين أخطاء لجنة نوبل غير المقصودة، لم يحصل غاموف علـى الإطلاق على الجائزة الأهم مقابل هذا الإسهام العميق لفهمنا الفيزياء النووية.

صبغ غامـوف بخلفيته في الفيزياء النووية وفيزياء الكوانتم طريقة بحـث طبيعـة الانفجـار العظيم، وشـاركـه في هذا الإنجـاز تلميذه رالـف ألفـر (1921 -)(*) وزميـل ألفر واسـمه روبرت هيرمان (1922 - 1997). وجديـر بالذكر أن غامـوف، بالإضافة إلى منصبه في جامعة جورج واشنطن خلال الأربعينيات والخمسينيات عمل أيضا مستشـارا في معمل الفيزياء التطبيقية بجامعـة جونز هوبكنز، حيث عمل أيضـا ألفر منذ العام 1944 فصاعـدا متفرغا للعمل وقتما كان يـدرس للحصول على درجة البكالوريوس ودرجة الماجسـتير ثم أخيرا الدكتوراه (التي حصل عليها في العام 1948)، واعتاد العمل في جامعة جورج واشنطن مساء وأيام العطلات الأسبوعية. وتميز هيرمان بخلفيته الأكاديمية التقليدية، وحصل على درجة الدكتوراه من جامعة برينستون، ثـم التحق بمعمل جونز هوبكنز في العام 1943، وشـارك في البداية، مثلما شـارك ألفر في الجهد الحربـي. كذلك فإنه مثل ألفر أدى عمله الخـاص ببدايات الكون خلال وقته الخاص، كهواية. وبحث ألفر، تحت إشراف غاموف، للحصول على درجة الدكتوراه، الطريقة التي يمكن بها أن تتكون عناصر أكثر تعقدا من عناصر بسـيطة في ظروف افترضوا أنهـا كانت موجودة في الانفجـار العظيم، وقتمـا كان كل الكون الذي

(*) توفي رالف ألفر يوم 12 أغسطس 2007 [المحررة].

نرصده مكدسا في حجم لا يتجاوز عرضه حجم منظومتنا الشمسية اليوم. إن العناصر الكيميائية التي نتكون نحن منها، وكذا بقية الكون المرئي، لا بد أنها جاءت من مصدر ما، وخمَّن غاموف أن المادة الخام لصناعتها هي سحابة مضيئة لانفجار نيوترونات. وحدث هذا في وقت كان قد تم فيه منذ عهد قريب أول تفجير لقنابل نووية، ومع تشييد أول مفاعلات نووية. ونعرف أنه صُنف قدر كبير من المعلومات عن كيفية تفاعل النوايات مع بعضها، ولكن توافر مع ذلك بنك معلومات مطرد الاتساع للمعلومات غير المصنفة عما يحدث للمواد من مختلف الأنواع عند تعرضها لإشعاعات النيوترونات من هذه المفاعلات، حيث تمتص النوايات النيوترونات الواحد تلو الآخر، لتصبح النوايات عناصر أثقل وتتخلص من فائض الطاقة في صورة أشعة غاما. يحدث أحيانا أن تنشأ بهذه الطريقة نوايات غير ثابتة وتعمل على ملاءمة تكوينها الداخلي عن طريق انبعاث إشعاع بيتا (إلكترونات). وعلى الرغم من أن من المفترض أن النيوترونات هي المادة الخام للكون، فإن النيوترونات نفسها تتحل بهذه الطريقة لتوليد إلكترونات وبروتونات، والتي تصنع معا العنصر الأول وهو الهيدروجين. وإضافة نيوترون إلى نواة الهيدروجين تعطينا نواة الديوتريوم Deuterium (هيدروجين ثقيل)، وإضافة بروتون آخر يصنع هليوم -3، وإضافة نيوترون آخر يصنع هليوم -4، والذي يمكن عمله أيضا عن طريق دمج نوايتي هليوم -3 وطرد بروتونين، وهكذا. ويحدث أن كل الديوتريوم تقريبا والهليوم -3 يتحول إلى هليوم -4 بطريقة أو بأخرى. وبحث ألفر وغاموف كل المعلومات المتاحة عن عملية أسر - النيوترون neutron- capture بالنسبة إلى عناصر مختلفة، واكتشفنا أن النوايات التي تشكلت بسهولة شديدة بهذه الطريقة تحولت لتكون نوايات أكثر العناصر شيوعا، بينما النوايات التي لم تتشكل بسرعة ويسر بهذه الطريقة تمثل العناصر النادرة. ووجدا بشكل خاص أن هذه العملية تؤدي إلى إنتاج كمية هائلة من الهليوم بالقياس إلى العناصر الأخرى التي تطابقت مع عمليات رصد مكونات الشمس والنجوم المتوافرة وقتذاك.

في ذلك الكثير من أجهزة الرصد المختلفة، بما فيها الكوكب الاصطناعي الشهير مستكشف أعماق الكون COBE، وتأكد أنه إشعاع الجسم الأسود الكامل (أكمل إشعاع للجسم الأسود لم يسبق أن شاهدنا مثله) وتبلغ درجة حرارته 2.725 ك. وهذا هو أقوى دليل على حدوث انفجار عظيم فعلا - أو بلغة علمية أكثر، أن الكون المرئي عاش مرحلة حرارة شديدة إلى أقصى حد، منذ نحو 13 مليار سنة مضت. وعكف علماء الدراسات الكونية في القرن العشرين على دراسة لغز يتعلق بكيفية ظهور تلك السحابة المضيئة للانفجار النووي وما مصدرها في بداية الأمر، بيد أننا لن نتعرض هنا لهذه الأفكار المغرقة في التأمل النظري، وسوف نختم مناقشتنا لتاريخ علم دراسة الكون الفيزيائي ونواميسه «الكوزمولوجيا» في حدود الدليل السائد، الذي يؤكد أن الكون كما نعرفه ظهر إثر انفجار عظيم - وإذا شئت تحديد تاريخ لذلك فإننا نرى أن الإعلان الخاص بنتائج القمر الاصطناعي مستكشف أعماق الكون في ربيع 1992 هي خير ما يعبر عن ذلك. وأصبح نموذج الانفجار العظيم له الحق في أن يحمل اسم نظرية الانفجار العظيم بعد أن قدم تنبؤات أثبتت الأرصاد صوابها.

ولكن ما هو بالدقة الشيء الذي انبثق عن الانفجار العظيم؟ بعد أن صقل ألفر وهيرمان تأملاتهما أكثر وأكثر، اكتشفا على الفور أن ثمة مشكلة أساسية في مخططهما عن صناعة العناصر (التركيب النووي) عن طريق الإضافة المتكررة للنيوترونات إلى النوايات واحد في كل مرة. وسرعان ما تبين لهما أن لا وجود لنوايات مستقرة مؤلفة من كتل من 5 وحدات أو 8 وحدات في المقياس الذري المتدرج. وتمثلت البداية في بحر من البروتونات والنيوترونات (يعتقد الآن أنها مصنوعة من طاقة خالصة داخل السحابة المضيئة للانفجار النووي للانفجار العظيم اتساقا مع معادلة آينشتين $E = mc2$)، وبذا يصبح من السهل صنع الهيدروجين والهليوم، وتفيدنا صياغات حديثة للحسابات التي كان رائدها فريق غاموف أن مزيجا من نحو 75 في المائة من الهيدروجين و25 في المائة من الهليوم يمكن صناعته على هذا النحو في الانفجار العظيم. ولكن إذا

أضفنا نيوترون إلى هليوم -4، فإننا نحصل على نظير منحل بشدة بحيث ينفـث النيوترون الزائد قبل أن يتوافر لديه وقت لمزيد من التفاعل لصنع نواة مسـتقرة. كذلك فإن قدرا ضئيلا جدا من ليثيوم -7 يمكن صناعته بواسـطة تفاعلات نادرة تلتصق فيها نـواة الهليوم -3 ونواة الهليوم -4، وتتمثل الخطوة التالية في إنتاج نواة البيريليوم 8 التي سرعان ما تتقسم إلـى نواتي هليـوم -4. وإذا أمكن فقط صنع هيدروجـين وهليوم (وأي آثـار لهليوم -7 والديوتريوم) في الانفجـار العظيم، فإن جميع العناصر الأخرى لا بد أن تتشكل في مكان ما. وكلمة «مكان ما» - أي المكان الممكن الوحيد كبديـل - هو باطن النجوم. ولكن بـدأ يظهر على نحو تدريجي فهم كيفية حدوث ذلك، بداية من إدراك العلماء في أواخر العشـرينيات وفي الثلاثينيات أن الشمس والنجوم ليست مصنوعة من مزيج العناصر نفسها المصنوع منها كوكب الأرض.

ونعرف أن فكرة أن الشـمس تتكون أساسا من نفس نوع مادة كوكب الأرض، ولكنها أشـد حرارة، هـي فكرة لها تاريخ طويـل، وتمثل نتاج أول محاولة حدثنا عنها التاريخ لوصف الأجرام السـماوية بما نسميه الآن مصطلحـات علمية وليس باعتبارها أربابا. وتعود هذه النظرة إلى الفيلسـوف الإغريقي انكسـاغوراس في أثينا، الـذي عاش في القرن الخامس ق.م. اسـتنتج انكساغوراس أفكاره عن تكوين الشمس عندما سـقط حجر نيزكي قرب أيغوسبوتامي. كان الحجر النيزكي أحمر من شـدة الحرارة عند وصولـه إلى الأرض وهو آت من السـماء، ومن ثم اسـتنتج انكساغوراس أنه آت من الشمس. ورأى أنه أساسا من حديد، ومن ثم اسـتخلص أن الشـمس مؤلفة مـن حديد. ونظـرا إلى أنه لا يعرف شـيئا عن عمر الأرض. أو عن وجود شـيء اسمه الطاقة تحفظ حرارة وسـطوع الشـمس، فقد بدت فكرة أن الشـمس كرة من حديد أحمر سـاخن فرضا ملائما فـي تلك الأيام (ولم يأخـذ كثيرون كلام انكسـاغوراس بجدية). وعندما بدأ الناس يفكرون في موضوع الطاقة باعتبارهـا مصدر حرارة الشـمس، مع مطلع القرن العشـرين، أدرك الفلكيون والعلماء أن الانحلال الإشعاعي لكمية قليلة من الراديوم كافية

لتظل الشمس ساطعة متوهجة (ولو لفترة قصيرة نسبيا)، وشجعت هذه النتائج فكرة أن الجزء الأكبر من كتلة الشمس يتألف من عناصر ثقيلة. ونتيجة لذلك شرع بعض علماء الفلك والفيزياء في بحث الكيفية التي يمكن أن يولِّد بها الانصهار النووي طاقة تحافظ على حرارة الشمس والنجوم، واستهلوا جهودهم ببحث العمليات التي تندمج فيها البروتونات (نوايات الهيدروجين) مع نوايات لعناصر أثقل، مفترضين أن العناصر الثقيلة كثيرة شائعة بينما البروتونات كامنة داخل النجوم. ونجد حتى إدنغتون، وماله من سابق تعليق عن تحول الهيدروجين إلى هليوم في العام 1920، نراه قانعا فقط بالإشارة إلى أن 5 في المائة من كتلة أي نجم ربما تبدأ في صورة هيدروجين.

إن العملية التي تنفذ بها البروتونات إلى النوايات الثقيلة هي عكس عملية الانحلال الألفي التي يفلت فيها جسيم ألفا (نواة الهليوم) من النواة الثقيلة، وتحكم العملية نفس قواعد حفر النفق التي اكتشفها غاموف. ونشر غاموف حساباته عن ظاهرة النفق Tunnel effect في العام 1928، وبعد ذلك بعام واحد نشر عالم الفيزياء الفلكية من ويلز روبرت أتكنسون (1889 - 1982) وزميله الألماني فريتز هوترمانس (1903 - 1966)، الذي سبق له أن عمل مع غاموف، ورقة بحث تصف نوع التفاعلات النووية التي يمكن أن تحدث داخل النجوم حال اندماج البروتونات مع النوايات الثقيلة. وافتتحا ورقة البحث بالكلمات التالية «برهن غاموف أخيرا على أن الجسيمات موجبة الشحنة يمكنها النفاذ إلى نواة الذرة حتى وإن تمسك الاعتقاد التقليدي بأن طاقتها غير كافية». وهذه هي الفكرة المفتاح. وجدير بالذكر أن إدينغتون على وجه خاص استخدم قوانين الفيزياء لحساب درجة حرارة باطن الشمس من كتلتها وطول الشعاع ومعدل ما تطلقه من طاقة في الفضاء. وأن هذه الحرارة - نحو 15 مليون ك - تكون من دون ظاهرة النفق منخفضة جدا، بحيث لا تجعل النوايات تتغلب على قوة التنافر الكهربية المتبادلة وتتلاحم معا. وفي مطلع العشرينيات حاول علماء الفيزياء بداية حساب شروط درجات الحرارة والضغط اللازمة لاندماج البروتونات

معا وتكوين الهليوم، ولكن بدت هذه المحاولة في نظر الكثيرين مشكلة مستعصية. ونعرف أن إدنغتون نشر كتابه «البنية الداخلية للنجوم» في العام 1926 مع بداية الثورة الكوانتية، وأجاب إدنغتون في كتابه هذا «نحن لا نحاج النقاد الذين يدفعون بأن النجوم ليست بدرجة الحرارة الكافية لمثل هذه العملية؛ ونقول لهم اذهبوا واكتشفوا «مكانا أشد حرارة».. ويفسر الناس عادة هذه العبارة بمعنى أن إدنغتون يطالب نقاده بالذهاب إلى الجحيم. ولكن ثورة الكوانتم، وحفر النفق بخاصة، هما اللذان أثبتا أن إدنغتون على صواب في تشبثه برأيه. ونحن لا نجد ما هو أفضل من ذلك للدلالة بوضوح على التكافل بين المباحث العلمية المختلفة. وطبيعي أن التقدم في فهم الأحداث الباطنية التي تجري في باطن النجوم ما كان له أن يتحقق إلا مع بداية فهم الخواص الكوانتية للكيانات الدقيقة مثل البروتونات.

ولكن حتى أتكينسون وهوترمانس كانا لايزالان، كما سبق أن رأينا، يفترضان في العام 1928 أن الشمس غنية بالعناصر الثقيلة. وخلال الفترة التي كانا يجريان فيها عملياتهما الحسابية حقق علم الأطياف تقدما كبيرا، مما ألقى الشك على هذا الافتراض. وفي العام 1928 كانت عالمة الفلك بريطانية المولد سيسيليا باين (تدعى بعد ذلك سيسيليا باين غابوشكين (1900 - 1979) عاكفة على إنجاز رسالتها لنيل درجة الدكتوراه في رادكليف كوليج، تحت إشراف هنري نوريس رسل. واكتشفت بفضل علم الأطياف أن تكوين الأغلفة الجوية للنجوم تغلب عليه عناصر الهيدروجين، وأثارت النتيجة دهشة كبيرة، حتى أنها حين نشرت نتائجها أصر رسل على ضرورة تضمين الرسالة تحذيرا حتى لا يعتقد أحد أن المعالم الطيفية المشاهدة يمكن فهمها على أنها تعني أن النجوم مؤلفة من هيدروجين، وأن الأمر راجع بالضرورة إلى سلوك خاص للهيدروجين في ظل ظروف خاصة بالنجوم، مما عزز من ظهوره في الطيف. ولكن خلال هذه الفترة تقريبا أكد الألماني ألبرخت أونسولد (1905 - 1995) وعالم الفلك الإيرلندي الشاب وليام ماكريا (1904 - 1999) كل بشكل مستقل عن الآخر أن غلبة

مسارات الهيدروجين في الطيف النجمي تشير إلى أن ذرات الهيدروجين الموجودة في الغلاف الجوي لكل من النجوم تزيد ملايين المرات عما هو موجود من كل الذرات الأخرى مجتمعة.

كيف تشع النجوم:

عملية الدمج النووي

جميع هذه الدراسات المتفرقة تجمعت معا في نهاية عشرينيات القرن إيذانا ببداية تطور فهم جديد لما يجعل النجوم مستمرة في إشعاع ضوئها. واحتــاج الأمر من علماء الفيزياء الفلكية إلى بضع ســنين للتأكد من أهم التفاعلات النووية وأكثرها احتمالا لتفســير العملية، ولايزالون في حاجة إلى وقت أطول قليلا لكي يتوافر لديهم تقدير كامل لمدى غلبة الهيدروجين علــى التكوين المرئي للكــون. ويرجع هذا جزئيا إلــى توافق عرضي غير ملائم. إذ ما إن استحدث علماء الفيزياء الفلكية النماذج الرياضية لوصف البنية الباطنية للنجوم بتفصيل في ثلاثينيات القرن، حتى اكتشفوا أن هذه النمــاذج حققــت المرجو منها - بمعنى أنها تنبأت بوجــود كرات من الغاز الحــار من نفس نوع وحجم وحرارة كتلة النجوم - وبدا إما أن يكون تكوين الأجرام الحارة نحــو الثلثين عناصر ثقيلة والثلــث هيدروجين (أو خليط مــن هيدروجين وهليوم)، أو أن تكوينها95 في المائة على الأقل هيدروجين وهليــوم مع آثار فقط لعناصر ثقيلــة. وأيا كان الخليط، هذا أم ذاك، فإن خواص كرات الغاز الحارة التي تم التنبؤ بها عن طريق المعادلات ستتطابق مــع خواص النجوم الحقيقيــة. وما إن تحقق علمــاء الفيزياء الفلكية من وجود ما هو أكثر من أثر للهيدروجين داخل النجوم، حتى اتجهوا بداية إلى الخيار الذي يفيد بوجود الثلثين من العناصر الثقيلة، معنى هذا أنهم وعلى مدى عقد من الزمن تقريبا ركزوا جهدهم على بحث التفاعلات التي تحفر فيها البروتونات نفقا إلى داخل النويات الثقيلة. ولكن فقط بعد اكتشافهم للعمليــات التفصيلية التي يمكن أن تحــول الهيدروجين إلى هليوم، أدركوا أن العناصر الثقيلة نادرة في النجوم، وأن الهيدروجين والهليوم معا يكونان 99 في المائة من مادة النجوم.

وكمــا هي الحال بالنســبة إلى الأفكار العلمية التــي حان وقتها، نجد التفاعــلات الرئيســيّة المتضمنة فــي عمليات الدمج النــووي التي تجعل النجوم مســتمرة في سطوعها قد حُددت على أيادي باحثين مختلفين في وقت واحد تقريبا. وتحققت المســاهمات الرئيســية علــى يدي هانز بيث الألمانــي المولد، والذي كان يعمل وقتذاك بجامعة كورنيل، وأيضا كارل فون فيتساكر (1912 -)(*)، الذي كان يعمل في برلين في السنوات الأخيرة مــن ثلاثينيات القرن. حدد الاثنــان عمليتين يمكــن أن يحدثا في درجة الحرارة المعروف أنها موجودة في باطن النجوم، وتســمح بعمليات كوانتية مثل حفر النفق، وذلك لتحويل الهيدروجين إلى هليوم مع الانطلاق الملائم للطاقة. وتعرف إحداهما بسلســلة البروتــون - بروتون Proton- proton chain وتمثل التفاعل المهيمن داخل نجوم مثل الشمس. وتتضمن بروتونين يكونان معا مع بوزيترون مقذوفا لينتج عن ذلك نواة ديوتيريوم (هيدروجين ثقيــل)(**). وعندما يلتحم بروتون آخر مع هــذه النواة يتكون هليوم -3 (بروتونــان زائــد نيوترون)، وعندمــا يجتمع اثنان من نوايــات هليوم -3 ويقذفــان بروتونين تكون النتيجة نواة هليوم -4 (بروتونان زائد نيوترون). وتجري العملية الثانية على نحو أكثر فعالية في درجات حرارة أعلى قليلا في الباطن العميق للنجوم التي تزيد كتلتها مرة ونصف المرة عن الشــمس، وكلتــا العمليتين موجودتان في كثير من النجوم. وتعمل دائرة الكربون، في العملية الثانية على شــكل أنشوطة، مما يستلزم وجود بضع نوايات كربون، وتشــتمل على بروتونات تحفر نفقا إلى داخل هذه النوايات وفق الطريقة التي أشار إليها أتكينســون وهوترمانس. ونظرا إلى أن العملية تجري في صورة أنشــوطة، فإن هذه النوايات الثقيلة تظهر في نهاية الدورة من دون أن يطــرأ عليها تغيير إذ تعمــل بفعالية كمحفــزات Catalysts. وتتمثــل البدايــة في نواة كربــون -12، وإضافة بروتون يولد نيتروجين -13 شديد التفاعــل، الذي ينفث بوزيترون ليصبح كربون -13(***). وإضافة بروتون

(*) توفي فيتساكر يوم 28 أبريل 2007 [المحررة].

(**) الكثيــر من هذه التفاعلات تتضمن أيضا قــذف نيوترينات، ولكن لن ندخل في التفاصيل توخيا للتبسيط.

(***) طرد بوزيترون يحول أحد البروتونات في النواة إلى نيوترون.

ثالث إلى نواة نيتروجين -14 يولد أكسجين -15 شديد التفاعل، الذي يطرد يوزيترون ليصبح نيتروجين -15. وهنا نصل إلى الختام - إذ بإضافة بروتون رابع تطرد النواة جسيم ألفا كله ويرتد إلى كونه كربون -12، الذي كان المكون في البداية. ولكن جسيم ألفا هو ببساطة نواة هليوم -4. مرة أخرى النتيجة الخالصة هي أن أربعة بروتونات تحولت إلى نواة هليوم وحيدة مع زوج من اليوزيترون وكمية طاقة انطلقت على امتداد العملية.

تحددت هاتان العمليتان قبيل نشوب الحرب العالمية الثانية، ومن ثم كان لا بد من الانتظار إلى أن تعود الأوضاع الطبيعية في أواخر الأربعينيات لتحقيق مزيد من التقدم في فهم الأحداث التي تجري في باطن النجوم. بيد أن هذه الدراسات أفادت كثيرا من الجهود التي بذلتها الإنسانية في أثناء الحرب لفهم التفاعلات النووية في ارتباطها بالبحث في موضوعات الأسلحة النووية وتطوير أول المفاعلات النووية. وما أن رُفع نطاق السرية عن المعلومات ذات الصلة، حتى تيسر العون لعلماء الفيزياء الفلكية لاستخراج ومعرفة معدلات التفاعلات من النوع الذي عرضناه من فورنا، والتي تجري داخل النجوم. وكما أوضحت دراسات ألفر وهيرمان وغاموف فيما يختص بمشكلة «فجوات الكتلة mass gaps» لتحول العناصر الأثقل خطوة بخطوة من هيدروجين وهليوم، نلحظ أن عديدين من علماء الفلك في الخمسينيات أبدوا اهتماما بمشكلة كيفية تكون العناصر الثقيلة (التي لا بد في النهاية أن تأتي من مكان ما) داخل النجوم. وراجت فكرة ترى إمكان التئام ثلاث نوايات هليوم - 4 (ثلاثة جسيمات ألفا) في آن واحد، لتتكون من ذلك نواة مستقرة من كربون - 12 من دون حاجة لتحول بريليوم - 8 شديد التفاعل ليكون خطوة وسيطة. وجاءت الرؤية النافذة والأساسية على يدي عالم الفلك البريطاني فريد هويل في العام 1953. إذ مثلما تقول الفيزياء «الكلاسيكية» بعدم إمكان اندماج بروتونين في ظل ظروف داخل نجم مثل الشمس كذلك فإن أبسط فهم للفيزياء النووية يفيد بإمكان حدوث تفاعلات ألفا - الثلاثي، ولكنه سيكون خاملا إلى حد بعيد بحيث لا يولد كميات كافية من الكربون على مدى حياة النجم. والملاحظ في أغلبية الحالات أن مثل هذه التصادمات الثلاثية جديرة بأن تحطم الجسيمات وتفككها لا أن تجمعها في نواة وحيدة.

مفهوم الرنين

حفـــر النفق الكوانْتي حل لغز دمج البروتون؛ اقترح هويل تأسيســـا على حقيقة أن الكربون موجود وليس أي دليل آخر حلا يتصف بالعمق الشـــديد للغز ألفا الثلاثي Triple Alpha – ويتمثل في أن النواة كربون -12 لها بالضرورة خاصية معروفة باســـم الرنـــين، وهو ما يزيد كثيرا من احتمال اندماج جســـيمات ألفا الثلاثية. وهذا الرنين هو حالات من الطاقـــة الأعلى في العادة. فإذا كانـــت الطاقة القاعدية Base energy للنواة يشبهونها بالنغم الأساسي الذي يعزفه المرء على وتر الغيتار، فإن حالات الرنين يمكن تشـــبيهها بالنغمات الأعلـــى التي تعزف على الوتر نفسه، حيث تكون أنغاما بعينها (تنغيمات محددة) هي الممكنة. ولم يكن ثمة شيء غريب أو غامض فيما يتعلق بفكرة الرنين عندما أعرب هويل عن اقتراحه – ولكن لم يكن هناك من ســـبيل لكي نحســـب مقدما رنين كربون – 12، ولكي يزداد الأمر غموضا نعرف أن كربون – 12 له رنين ذو طاقة معينة ومحددة للغاية تتوافق مع نغم شديد النقاء. وأقنع هويل عالـــم الفيزياء التجريبية ويلي فاولر (1911 – 1995)، الذي يعمل في معهـــد كاليفورنيا للتكنولوجيا بإجراء تجـــارب بهدف اختبار وجود مثل هذا الرنين في نواة كربون – 12. وتبين أن الأمر مثلما تنبأ هويل بالدقة. يســـمح وجود هذا الرنين باندماج جسيمات ألفا الثلاثية معا في سهولة ويسر بدلا من التصادم الذي يؤدي إلى تحطمها. ويخلق هذا نواة نشطة من كربون – 12 تشع طاقتها الزائدة بعيدا وتستقر عند مستوى الطاقة القاعدية (والمعروفة باســـم حالة الهمـــود Ground state). ويمثل هذا الاكتشـــاف المفتاح الذي فسر كيف يمكن تحول عناصر أثقل من الهليوم داخل النجوم(*). ومن ثم ما أن يتوافر لديك نوايات كربون لنعمل عليها، حتى تمتلك تكوين عناصر أثقل بإضافة المزيد من جسيمات ألفا (بداية من كربون – 12 إلى أكسجين – 16 إلى نيون – 20، وهكذا) أو الإضافة بواسطة التغذية بالتقطير Drip-feed بإضافة البروتونات كما ناقشها أمثال أتكينسون هوترمانس وأيضا، وإن في سياق مختلف، كل من ألفر

(*) جديـــر بالذكر أن هذا تحقق بعد أقل من نصف قرن منذ أن حدد راذرفورد أن إشـــعاع ألفا هو نوايات هليوم.

وهيرمان (وهذا النوع من العمليات مطبق أيضا في دورة الكربون). وجدير بالذكر أن هويل وفاولر وزملاءهما من مواليد بريطانيا جوفري بوربيدج (1925 -)(*) ومارغريت بوربيدج (1922 -) سجلوا رؤيتهم المحددة لكيفية تكون العناصر بهذه الطريقة داخل النجوم، وأثبتوها في بحث منشور في العام 1957 (**). واستطاع علماء الفيزياء الفلكية تأسيسا على هذا البحث عمل نموذج تفصيلي للأحداث التي تجري في باطن النجوم، وكذا مقارنة هذه النماذج مع عمليات رصد النجوم في الواقع، وتحديد دورات حياة النجوم، استنتاج أمور كثيرة من بينها أعمار أقدم النجوم في مجرتنا.

وهذا الفهم لعمليات الاندماج النووي التي تجري داخل النجوم فسر لنا كيفية تحول جميع العناصر وصولا إلى الحديد من هيدروجين وهليوم الناتجين عن الانفجار العظيم. وفضلا عن ذلك، أن نسب العناصر المختلفة الذي يقضي التنبؤ بأنها نتجت بهذه الطريقة تطابق النسب التي نشاهدها في الكون على اتساعه - كمية الكربون بالنسبة إلى الأكسجين، أو النيون بالنسبة إلى الكالسيوم، أو أي شيء آخر. ولكن هذا الفهم لا يفسر لنا وجود العناصر الأثقل من الحديد، ذلك لأن نوايات الحديد تمثل الشكل الأكثر استقرارا للمادة في حياتنا اليومية مع أقل طاقة. وذلك لأن تكوين نوايات العناصر الأثقل - مثل الذهب أو اليورانيوم أو الرصاص - يحتاج إلى أن تتوافر في داخل النوايات الطاقة الضرورية لإرغام النوايات على الاندماج مع بعضها. ويحدث هذا عندما تصل النجوم، الأضخم من الشمس إلى نهاية حياتها ويفرغ وقودها النووي القادر على توليد الحرارة (من نوع التفاعلات التي عرضناها على الفور) ليحافظ على بقائها. وعندما يفرغ وقود هذه النجوم، فإنها تنهار على نحو مثير فوق نفسها، وعندما يحدث ذلك تنطلق كميات مهولة من الطاقة التثاقلية وتتحول إلى حرارة. ونجد أن أحد الآثار الناجمة عن ذلك أن يشع النجم الوحيد لمدة بضعة أسابيع، ويسطع مثل مجرة كاملة لنجوم عديدة، ويتحول إلى النجم

(*) توفي يوم 26 يناير 2010 [المحررة].

(**) أسماء المؤلفين وفق الترتيب الأبجدي: بوربيدج، بوربيدج، فاولر وهويل. ويعرف جميع علماء الفلك هذه الورقة بعبارة B2FH.

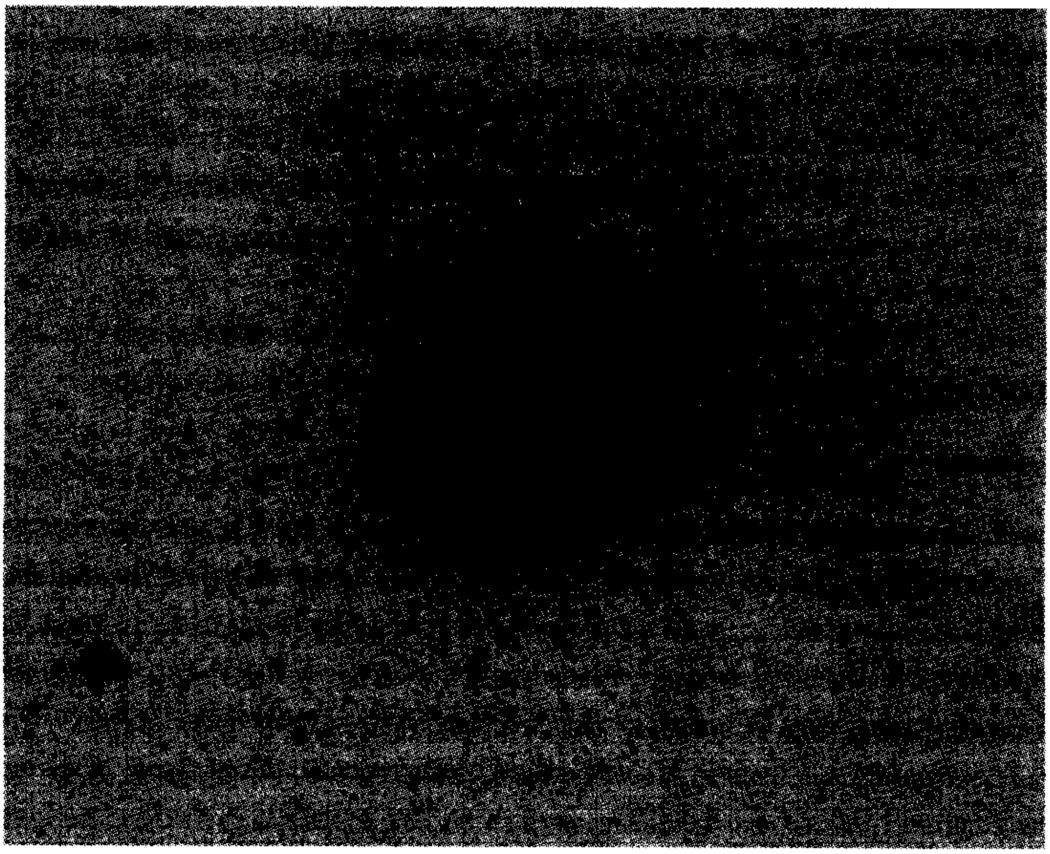
المتجــدد الأعظم supernova؛ أثر ثان هــو توافر الطاقة الكافية لاندماج النوايات معـــا وتكوين العناصر الأثقل. وأثر ثالث هو توليد انفجار ضخم يــؤدي إلـــى تناثر الجزء الأغلب مـــن مادة النجم، بما فـــي ذلك العناصر الثقيلة، لتنتشـــر عبـــر الفضاء الممتد بين النجوم، ويكـــون جزءا من المادة الخـــام لنجوم جديدة وكواكب جديدة وربما لبشـــر آخرين. وجدير بالذكر أن النماذج النظرية التي تصف هذا كله اســـتحدثها كثير من الباحثين في ستينيات وسبعينيات القرن العشـــرين اعتمادا على عمليات رصد النجم المتجدد الأعظم (وهـــي وقائع نادرة الحدوث) في مجرات أخرى. وحدث أن شـــوهد في العام 1987 نجم متجدد أعظم ينفجر بالقرب من جارتنا، سحابة ماجلان الكبرى - وهذا هو أقرب نجم متجدد أعظم وأتيح لنا أن نشاهده منذ ابتكار التلسكوب الفلكي. وأمكن توفير طاقم من التلسكوبات الحديثة التي رصدت الحدث على مدى شـــهور، وحُلل بكل دقة وتفصيل، مـــع رصد جميع الأطوال الموجية الممكنة، وتبين من العمليات التي كشـــف عنهـــا هذا النجم المتجدد الأعظم أنها تطابق تنبؤات تلك النماذج. وهكذا اســـتطعنا عمليا أن نضع آخر قطعة تنقصنا في موضعها الصحيح تماما من أجل فهم أساســـيات حيـــاة وعمل النجوم. ورأى علمـــاء الفلك الذين عايشـــوا تطور هذا الفهم خلال دورة حياة فرد من البشر أن هذا الإنجاز يمثل أهم الاكتشـــافات وأكثرهـــا إثارة، وهي الاكتشـــافات المعنية بأصل ونشأة العناصر، وأكد ذلك صواب النموذج النظري بكل معنى الكلمة.

الكربون والهيدروجين
والأكسجين والنيتروجين CHON ومكان البشر في الكون

يقودنا هذا إلى ما أعتقد أنه، وفق رأيي، أهم وأعمق اكتشـــاف في كل مسيرة الجهد العلمي. أصبح في وسع علماء الفلك أن يحسبوا بدقة بالغة كم المادة على اختلاف أنواعها تحولت داخل النجوم وتناثرت في الفضاء نتيجة للنجوم من نوع المتجدد الأعظم وغيرها من الانفجارات النجمية الأقل شـــأنا. ويستطيعون عن طريق اســـتخدام علم الطيف تأكيد هذه الحسابات عن طريق قياس كمية الأنواع المختلفة من المادة

في سحابات الغاز والغبار في الفضاء، والمادة الخام التي تتكون منها منظومات نجوم وكواكب جديدة. ووجدوا، باستثناء الهليوم وهو غاز خامل لا يسهم في التفاعلات الكيميائية، أهم أربعة عناصر شائعة في الكون، وهي الهيدروجين والكربون والأكسجين والنيتروجين، والمعروفة في مجموعها باسم كون CHON. وهذه حقيقة نهائية كشفت عنها عملية بحث بدأت عندما حول غاليليو تلسكوبه لأول مرة تجاه السماء، وانتهت بتلك الملاحظات حول النجم المتجدد والأعظم في العام 1987. وثمة مسار آخر للبحث، والذي بدا منذ قرون أن لا علاقة له بالدراسة العلمية للنجوم، وبدأ هذا المسار قبل قليل من الفترة التي وضع فيها فيساليوس دراسة الجسم البشري على أساس علمي. وكشفت الحقيقة المؤكدة عبر هذا المسار البحثي، والذي بلغ أوجه ببحث الدنا في خمسينيات القرن العشرين، عن أنه لا دليل يشير إلى ما يسمى قوة خاصة للحياة، بل إن كل ما يتعلق بالحياة، على كوكب الأرض، بما في ذلك نحن البشر، ينبني على أساس عمليات كيميائية. وأن العناصر الأربعة الأكثر شيوعا التي تدخل في كيمياء الحياة، هي الهيدروجين والكربون والأكسجين والنيتروجين. نحن مصنوعون على وجه التحديد والدقة من مواد خام ميسورة جدا في الكون. معنى هذا أن كوكب الأرض ليس استثناء ولا مكانا خاصا، وأن أشكال الحياة المبنية على أساس الـ CHON موجودة على الأرجح في كل أنحاء الكون، وليس فقط في مجرتنا، بل موجودة في المجرات الأخرى. إنها النهاية للزعم بأن للبشرية مكانا خاصا في الكون، وبهذا تكتمل العملية التي بدأت مع كوبرنيكس وكتاب «عن دوران الأجرام السماوية» De Revolutionibus. نعرف الآن أن كوكب الأرض كوكب عادي يدور في فلك حول نجم عادي وسط ضواح وأحياء لمجرة متوسطة. وتحتوي مجرتنا على مئات مليارات النجوم، وهناك مئات مليارات المجرات في الكون المرئي، وجميعها تعج بنجوم مثل الشمس، وتملؤها سحب الغاز والغبار الغنية بالعناصر الأربعة CHON. ولم يتبق شيء لإسقاطه من عناصر الفكرة التي سادت قبل النهضة، والتي زعمت أن كوكب

الأرض يحتـــل مـركز الكون وأن الشـــمس والنجوم تدور في مداراتها حوله، وأن البشـــرية ذروة متفردة متميزة عن كل ما سواها الذي يحتل مستوى أدنى.



41 - صورة بصرية (سالبة) للمجموعة النجمية الكروية NGC 362

البحث في المجهول

ولكن هل هذه الاكتشـــافات تعني، كما أشـــار البعض، أن العلم على وشـــك بلوغ النهاية؟ الآن وقد عرفنـــا ماهية وكيفية الحياة والكون، هل تبقى أي شـــيء ســـوى أن تملأ الفراغات بالتفاصيل؟ أعتقد أنه لايزال هناك الكثير. إن ملء الفراغات بالتفاصيل ســـيكون عملا يستغرق زمنا وجهدا كثيرين، ولكن العلم ذاته آخذ اليوم في التحول كيفيا. إن المناظرة التي اســـتخدمتها في السابق، والتي لا أستطيع أن أضيف جديدا إليها هي لعبة الشـــطرنج. إن طفلا يمكنه تعلم قواعد اللعبة - حتى القواعد الأشد تعقدا مثل حركة الحصان. بيد أن هذا لا يجعل من الطفل أستاذا

كبيرا في اللعبة، بل إن أعظم أســاتذة اللعبة على مدى التاريخ لن يزعم أي منهم أنه أحاط علما بكل شــيء يتعين معرفته عن لعبة الشــطرنج. بعد أربعة قرون ونصف القرن من صدور كتاب «De Revolutionibus» أصبحنا الآن في موقف ذلك الطفل الذي فرغ من فوره من معرفة قواعد اللعبــة. وها نحن بدأنــا فقط في القيام بــأول محاولاتنا لكي نمارس اللعبة بفضل تطورات مثل الهندسة الوراثية والذكاء الاصطناعي. ومن منا يعرف ما سوف يجد على مدى القرون الخمسة القادمة، ناهيك عن الألفيات الخمس مستقبلا.

الختام

متعة اكتشاف حقائق الأشياء

«ثمة مفتاحان للتقدم العلمي في رأيي، هما: البراعة الشخصية في الأداء والبناء المتدرج تأسيساً على ما سبق»

المؤلف

العلم نشاط شخصي. والعلماء على مدى التاريخ، وباستثناءات قليلة جدا، لم ينسجوا حصاد إبداعهم من أجل شهرة المجد أو ابتغاء مكافأة مادية، بل رغبة في إشباع فضولهم لاكتشاف العالم وكيف تجري أحداثه. رأينا البعض تطرفوا في توجههم هذا حتى بلغ الأمر حد احتفاظهم باكتشافاتهم لأنفسهم، سعداء بالمعرفة وبوصولهم إلى حل بعض الألغاز الخاصة، من دون أن يساورهم شعور بالحاجة إلى الزهو بالإنجاز. وعلى الرغم من أن كل عالم - وكل جيل من العلماء - يعيش ويعمل في سياق عصره، ويبني على ما أنجزه السابقون عليه، مستعينا بالتكنولوجيا المتاحة لديه، فإن كل واحد من علماء الجيل يقدم مساهمته الخاصة. لهذا بدا لي طبيعيا جدا أن ألتزم نهج السير الذاتية

في عـــرض تاريخ العلم (على الأقل بالنسبة إلـى أول محاولة لي لكتابة هذا التاريخ)، وراودني الأمل في أن أستخلص شيئا مما أراه يجعل العالِم علامة شاهدة على عصره، علاوة على الكشف عن الكيفية التي يقود بها تقدما علميا إلى تقدم تال. وأدرك جيدا أن هذا النهج ليس النهج الذي يؤثره المؤرخون اليوم، وأن أيا من المؤرخين المهنيين، ممن قرأوا هذا الكتاب، ربما يتهمونني بأنني موضة قديمة بل ورجعي، لكن إذا كنت حقا موضة قديمة، فإنني كذلك لأن هذا ما اخترته لنفسي، وليس لأنني غير واع بأنني خارج السرب. وإنني على وعي أيضا بوجود كثير من أساليب التناول في دراسة التاريخ بقدر ما هنالك من مؤرخين، وأن كل أسلوب أو نهج في البحث كفيل بأن يلقي ضوءا على الموضوع. وقد يزعم قليل من المؤرخين، إن وجدوا، أن رؤية شخص (أو تفسيره) للتاريخ تكشف من حقائق التاريخ بقدر ما تكشفه فقط لقطة واحدة عن لحظة واحدة من لحظات حياة الشخص على مدى العمر. ولكن ربما تضمن نهجي في دراسة تاريخ العلم شيئا ما يوفر زادا للفكر حتى بالنسبة إلى أصحاب المهنة.

وعلى الرغم من أن عملية إنجاز العلم هي نشاط شخصي، فإن العلم ذاته في جوهره إنجاز لا شخصي. إنه يتضمن حقائق مطلقة وموضوعية. وحري أن ندرك أن الخلط بين عملية إنجاز العلم وبين العلم ذاته أدى إلى أسطورة شائقة عن أن العالم آلة منطقية ذات دم بارد، لكن العلماء بوسعهم أن يكونوا ذوي دم حار، غير منطقيين، بل ومجانين في إصرارهم على مواصلة البحث وصولا إلى الحقيقة النهائية. لقد كان إسحق نيوتن - وفق بعض المعايير - مجنونا، سواء من حيث الهوس بالعديد من الاهتمامات (العلم والسيمياء والدين)، وسواء من حيث شدة ثأره الشخصي، بينما كان هنري كافنديش شاذا بكل معنى الكلمة. لذلك لزم التمييز بين ما هو ذاتي، ومن ثم مباح الجدل فيه في هذا الكتاب، وبين ما هو موضوعي وحقيقي من دون جدال.

إنني لا أزعم أن الكتاب هو القول الفصل في تاريخ العلم، إذ لا يوجد كتاب كهذا. إن به عنصرا ذاتيا شأن أي تاريخ، ولكنه مكتوب من منظور شخص ضالع مهنيا في البحث العلمي، وليس مؤرخا مهنيا، ومن ثم له

إيجابياته وسلبياته. والجدير بالذكر أن أهم رؤية أقدمها هنا، وآمل أن أكون قد عرضتها واضحة، هي رفضي فكرة توماس كون عن «الثورات» في العلم، وعندي أن تطور الموضوع تراكمي في جوهره، خطوة تتلوها خطوة. وثمة مفتاحان للتقدم العلمي في رأيي، هما: البراعة الشخصية في الأداء، والبناء المتدرج تأسيسا على ما سبق. إن العلم جهد البشر وليس البشر جهد العلم، وهدفي أن أحكي للقارئ عن الناس الذين صنعوا بجهدهم العلم وكيف تحقق لهم ذلك. وترتبط بهذه الرؤية عن العلم برباط وثيق فكرة أن العلم منفصل إلى حد ما عن الاضطرابات العنيفة، الاقتصادية والاجتماعية، التي يشهدها العالم على اتساعه، وهذا أيضا واقع الحال بالنسبة إلى البحث عن الحقيقة الموضوعية.

والملاحظ أن المؤرخين أو علماء الاجتماع، ممن ليس لديهم تمرس علمي أو خبرة في البحث العلمي، يذهبون أحيانا إلى أن الحقيقة العلمية ليست أكثر صدقا من الحقيقة الفنية، وأن نظرية النسبية العامة لآينشتين يمكن (ولنضعها في صيغتها الجافة) أن ينتهي عصرها وتغدو نظرة قديمة، مثلها مثل لوحات فناني العصر الفيكتوري التي انتهي أسلوبها الفني. الأمر ليس كذلك أبدا، وبشكل مطلق. إن أي وصف للكون يتجاوز نظرية آينشتين لا بد أن يمضي إلى حدود أبعد من حدود النظرية، وأن يتضمن كل النجاحات التي حققتها النظرية العامة تماما، مثلما أن النظرية العامة تتضمن في داخلها نظرية نيوتن عن الجاذبية. لن يكون هناك أبدا وصف ناجح للكون ويقضي بخطأ نظرية آينشتين في أي من المجالات التي أثبتت صدقها فيه. إنها حقيقة واقعية موضوعية أن تقول، كمثال، الضوء ينحني بقدر معين حال مروره قرب نجم مثل الشمس، وسوف تظل النظرية العامة قادرة على أن تنبئك بقدر هذا الانحناء. وإذا انتقلنا إلى مستوى أبسط، فإن قانون التربيع العكسي للجاذبية، مثله مثل الكثير من الحقائق العلمية الأخرى، يعتبر حقيقة نهائية، من دون اعتبار أن الحقيقة هي الرواية التاريخية عن كيفية اكتشاف القانون. إذ لا أحد سوف يعرف مدى تأثر تفكير نيوتن بشأن الجاذبية بملاحظة سقوط تفاحة، ولعل نيوتن نفسه وقت أن حكى القصة لم يكن ليتذكر التفاصيل بشكل صحيح، ولكننا جميعا نعرف ما

هو قانون الجاذبية الذي اكتشفه. لذلك أرى أن روايتي هي رواية ذاتية وشخصية في تفسيرها للبينات الدالة على كيفية اكتشاف الحقائق العلمية، بيد أنها رواية لا شخصية وموضوعية في عرضها لماهية هذه الحقائق العلمية. ويمكن للقارئ أن يتفق ويختلف معي بشأن رأيي في أن نيوتن كان سيئ النية تجاه روبرت هوك، ولكن أيا كان الأمر سيكون لزاما الإقرار بحقيقة قانون هوك للمرونة (Law of elasticity) .

وإذا كنا في حاجة إلى حجة عكسية لنبين أن لا سبيل إلى تشويه الحقيقة العلمية لكي تتلاءم مع وضع نريده للعالم، فسوف نجد ضروريا الإشارة إلى تشويه دراسة علم الوراثة في ظل العهد الستاليني في الاتحاد السوفييتي منذ نصف قرن مضى. ذلك أن تروفيم لايزنكو (1898-1976) أصبح ذا حظوة كبيرة ونفوذ عظيم في ظل هذا النظام، لأن أفكاره عن الوراثة قدمت رؤية صحيحة سياسيا عن العالم البيولوجي، بينما مبادئ الوراثة عند مندل نظر إليها النظام باعتبارها غير متوافقة مع المادية الجدلية. ربما تكون كذلك، لكن تظل الحقيقة هي أن علم الوراثة عند مندل يهيئ لنا وصفا جيدا للكيفية التي تحدث بها عملية الوراثة، وهو ما لم يفعله لايزنكو، وكان لهذا آثاره الكارثية على المستوى التطبيقي بسبب نفوذ لايزنكو على التطبيق الزراعي السوفييتي.

وثمة حجة هي الأغرب في حياتي التي طرحها صاحبها - بشكل جاد على ما يبدو - وقال إن استخدام كلمة مثل الجاذبية لنصف بها سبب سقوط تفاحة من أعلى الشجرة لا يقل غرابة وغموضا عن قولنا إن إرادة خفية هي السبب لتفسير سقوط التفاحة، مادامت كلمة جاذبية مجرد علامة. يقينا هي كذلك، تماما، مثل كلمات نصها «إن عبارة الخامسة لبيتهوفن»، هي كلمات وليست معزوفة موسيقية، بل مجرد عبارة للدلالة على شيء يشير إلى معزوفة موسيقية. وثمة علامة بديلة مثل رموز شفرة مورس للدلالة على حرف V ، يمكن استخدامها للدلالة على المعزوفة نفسها. ويدرك العلماء جيدا أن الكلمات ما هي إلا علامات نستخدمها بغية الملاءمة والتيسير، مثلما أن الوردة إذا اتخذنا لها اسما آخر فسوف يظل لها عطرها. وهذا هو السبب في الاختيار العمدي لاستخدام كلمة لا معنى لها في ذاتها، مثل كلمة «كوارك» (Quark)، علامة تدل على

كينونة أساسـية في نظرية الجسـيم، وهذا هو السـبب أيضا في أنهم يستخدمون أسماء الألوان «أحمر وأزرق وأخضر»؛ لتحديد أنواع مختلفة مـن كوارك. إنهم لا يقصـدون أن الكواركات ملونـة حقيقة بهذا اللون. إن الفـارق بين الوصف العلمي لكيفية سـقوط التفاح والوصف الغامض لكيفية سقوط التفاح يتمثل في أنه أيا كان الاسم الذي نعزو إليه الظاهرة فإنـه في المصطلحات العلمية يمكن وصفه وفق قانون محدد (مثل قانون التربيع العكسـي)، وأن القانون نفسه يمكن تطبيقه على سقوط التفاحة من على الـشجرة، وطريقة بقاء القمر فـي مداره حول كوكب الأرض... وغير ذلك من ظواهر الكون. أما بالنسبة إلى التفسيرات التي تشير إلى قوى خفية أو غامضة فإنها لا تكشف لنا عن السبب في أن لنا أن نتوقع طريقة سـقوط التفاحة من على الشجرة، والسبب في أن لهذا السقوط أي علاقـة ، مثلا، بطريقة حركة نيزك عند مروره أمام الشـمس. ولكن كلمـة جاذبية هـي ضرب من التعبير الاختزالي عن كل مسلسـل الأفكار التي يجسدها كتاب نيوتن «برنكيبيا»، أو نظرية النسبية العامة لآينشتين. ولهذا فإن كلمة جاذبية عند العالم تسـتدعي في الذهن لوحة نسـيجية غنيـة بالأفكار والقوانـين، تماما مثلما أن كلمتـي «الخامسـة لبيتهوفن» تسـتدعي في ذهن قائد فرقة الأوركسترا السـيمفونية خبرة موسيقية غنية. وليست المسألة المهمة هي العلامة أو الرمز، إنما المهم هو القانون الكلي الذي يمثل القاعدة والأساس، ويمنح العلم قدرة على التنبؤ. وهكذا نستطيع أن نقول بثقة إن الكواكب (والمذنبات) التي تدور في أفلاك حول النجوم الأخرى تخضع بدورها لتأثير قانون التربيع العكسي، سواء نسبنا ذلك القانون إلى «الجاذبية» أو إلى «قوى خفية»، ولنا أن نكون على يقين بأن أي كائنات عاقلة تسـكن تلك الكواكب سـوف تقيـس قانون التربيع العكسي ذاته، وإن كانوا – من دون ريب – سيسمونه اسما مختلفا.

ولسـت في حاجة إلى أن أثقل على نفسـي لتوضيح هذه الفكرة. ذلك لأن هناك حقائق نهائية تمثل بفضل العلم بنية متماسكة. وأن ما يحفز العلماء العظام ليس ظمأهم إلى الشـهرة أو الثروة (وإن كان في الإمكان أن يكون لذلك بريق غواية لدى من هم دون مسـتوى العظماء والعلماء)، ولكن يحفزهم ما سـماه ريتشـارد فينمان «متعة اكتشـاف

حقائق الأشياء». وإنها لمتعة مشبعة للغاية، حتى أن كثيرين من العلماء العظام، ابتداء من نيوتن إلى كافنديش، ومن تشارلز داروين إلى فينمان نفسه، لم يشغلوا بالهم بنشر اكتشافاتهم إلا نتيجة ضغط زملائهم لكي يفعلوا ذلك، ولكنها متعة صعبة المنال إذا انتفت الحقائق التي علينا أن نكتشفها.

ببليوغرافيا

J. A. Adhémar, *Révolutions de la mer* (published privately by the author, Paris, 1842).
Elizabeth Cary Agassiz, *Louis Agassiz, his life and correspondence* (Houghton Mifflin & Co, Boston, 1886; published in two volumes).
Ralph Alpher and Robert Herman, *Genesis of the Big Bang* (OUP, Oxford, 2001).
Angus Armitage, *Edmond Halley* (Nelson, London, 1966).
Isaac Asimov, *Asimov's New Guide to Science* (Penguin, London, 1987).
John Aubrey, *Brief Lives* (ed. by Andrew Clark), vols I and II (Clarendon Press, Oxford, 1898).
Ralph Baierlein, *Newton to Einstein* (CUP, Cambridge, 1992).
Nora Barlow (ed.), *The Autobiography of Charles Darwin, 1809–1882, with original omissions restored* (William Collins, London, 1958).
A. J. Berger, J. Imbrie, J. Hays, G. Kukla and B. Saltzman (eds.), *Milankovitch and Climate* (Reidel, Dordrecht, 1984).
W. Berkson, *Fields of Force* (Routledge, London, 1974).
David Berlinski, *Newton's Gift* (The Free Press, New York, 2000).
A. J. Berry, *Henry Cavendish* (Hutchinson, London, 1960).
Mario Biagioli, *Galileo, Courtier* (University of Chicago Press, Chicago, 1993).
P. M. S. Blackett, E. Bullard and S. K. Runcorn, *A Symposium on Continental Drift* (Royal Society, London, 1965).
W. Bragg and G. Porter (eds.), *The Royal Institution Library of Science*, volume 5 (Elsevier, Amsterdam, 1970).
S. C. Brown, *Benjamin Thompson, Count Rumford* (MIT Press, Cambridge, MA, 1979).
Janet Browne, *Charles Darwin: voyaging* (Jonathan Cape, London, 1995).
Leonard C. Bruno, *The Landmarks of Science* (Facts on File, New York, 1989).
John Campbell, *Rutherford* (AAS Publications, Christchurch, New Zealand, 1999).
G. M. Caroe, *William Henry Bragg* (CUP, Cambridge, 1978).

Carlo Cercignani, *Ludwig Boltzmann* (OUP, Oxford, 1998).
S. Chandrasekhar, *Eddington* (CUP, Cambridge, 1983).
John Robert Christianson, *On Tycho's Island* (CUP, London, 2000).
Frank Close, *Lucifer's Legacy* (OUP, Oxford, 2000).
Lawrence I. Conrad, Michael Neve, Vivian Nutton, Roy Porter and Andrew Wear, *The Western Medical Tradition: 800 BC to AD 1800* (CUP, Cambridge, 1995).
Alan Cook, *Edmond Halley* (OUP, Oxford, 1998).
James Croll, *Climate and Time in their Geological Relations* (Daldy, Isbister, & Co., London, 1875).
J. G. Crowther, *British Scientists of the Nineteenth Century* (Kegan Paul, London, 1935).
J. G. Crowther, *Founders of British Science* (Cresset Press, London, 1960).
J. G. Crowther, *Scientists of the Industrial Revolution* (Cresset Press, London, 1962).
William Dampier, *A History of Science*, 3rd edn (CUP, Cambridge, 1942).
Charles Darwin, *The Origin of Species by Means of Natural Selection*, reprint of the first edition of 1859 plus additional material (Pelican, London, 1968; reprinted in Penguin Classics, 1985).
Charles Darwin and Alfred Wallace, *Evolution by Natural Selection* (CUP, Cambridge, 1958).
Erasmus Darwin, *Zoonomia*, Part 1 (J. Johnson, London, 1794).
Francis Darwin (ed.), *The Life and Letters of Charles Darwin* (John Murray, London, 1887). An abbreviated version is still available as *The Autobiography of Charles Darwin and Selected Letters* (Dover, New York, 1958).
Francis Darwin (ed.), *The Foundations of the Origin of Species: two essays written in 1842 and 1844 by Charles Darwin* (CUP, Cambridge, 1909).
Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker* (Longman, Harlow, 1986).
René Descartes, *Discourse on Method and the Meditations*, translated by F. E. Sutcliffe (Penguin, London, 1968).
Adrian Desmond and James Moore, *Darwin* (Michael Joseph, London, 1991).
Ellen Drake, *Restless Genius: Robert Hooke and his earthly thoughts* (OUP, New York, 1996).
Adrian Desmond, *Huxley* (Addison Wesley, Reading, MA, 1997).
Stillman Drake, *Galileo at Work* (Dover, New York, 1978).
Stillman Drake, *Galileo* (OUP, Oxford, 1980).
J. L. E. Dryer, *Tycho Brahe* (Adam & Charles Black, Edinburgh, 1899).
A. S. Eddington, *The Internal Constitution of the Stars* (CUP, Cambridge, 1926).
A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World* (CUP, Cambridge, 1928).
Margaret 'Espinasse, *Robert Hooke* (Heinemann, London, 1956).

John Evelyn, *Diary* (ed. E. S. de Beer) (OUP, London, 1959).
C. W. F. Everitt, *James Clerk Maxwell* (Scribner's, New York, 1975).
J. J. Fahie, *Galileo: his life and work* (John Murray, London, 1903).
Otis Fellows and Stephen Milliken, *Buffon* (Twayne, New York, 1972)
Georgina Ferry, *Dorothy Hodgkin* (Granta, London, 1998).
Richard Feynman, *QED: the strange theory of light and matter* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1985).
Richard Fifield (ed.), *The Making of the Earth* (Blackwell, Oxford, 1985).
Antony Flew, *Malthus* (Pelican, London, 1970).
Tore Frängsmyr (ed.), *Linnaeus: the man and his work* (University of California Press, Berkeley, 1983).
Galileo Galilei, *Galileo on the World Systems* (abridged and translated from the *Dialogue* by Maurice A. Finocchiaro) (University of California Press, 1997).
George Gamow, *The Creation of the Universe* (Viking, New York, 1952).
G. Gass, Peter J. Smith and R. C. L. Wilson (eds.), *Understanding the Earth*, 2nd edn (MIT Press, Cambridge, MA, 1972).
J. Geikie, *The Great Ice Age*, 3rd edn (Stanford, London, 1894; 1st edn published by Isbister, London, 1874).
Wilma George, *Biologist Philosopher: a study of the life and writings of Alfred Russel Wallace* (Abelard-Schuman, New York, 1964).
William Gilbert, *Loadstone and Magnetic Bodies, and on The Great Magnet of the Earth*, translated from the 1600 edition of *De Magnete* by P. Fleury Mottelay (Bernard Quaritch, London, 1893).
C. C. Gillispie, *Pierre-Simon Laplace* (Princeton University Press, Princeton NJ, 1997).
H. E. Le Grand, *Drifting Continents and Shifting Theories* (CUP, Cambridge, 1988).
Frank Greenaway, *John Dalton and the Atom* (Heinemann, London, 1966).
John Gribbin, *In Search of Schrödinger's Cat* (Bantam, London, 1984).
John Gribbin, *In Search of the Double Helix* (Penguin, London, 1995).
John Gribbin, *In Search of the Big Bang* (Penguin, London, 1998).
John Gribbin, *The Birth of Time* (Weidenfeld & Nicolson, London, 1999).
John Gribbin, *Stardust* (Viking, London, 2000).
John and Mary Gribbin, *Richard Feynman: a life in science* (Viking, London, 1994).
John Gribbin and Jeremy Cherfas, *The First Chimpanzee* (Penguin, London, 2001).
John Gribbin and Jeremy Cherfas, *The Mating Game* (Penguin, London, 2001).
Howard Gruber, *Darwin on Man* (Wildwood House, London, 1974).
Thomas Hager, *Force of Nature: the life of Linus Pauling* (Simon & Schuster, New York, 1995).

Marie Boas Hall, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (CUP, Cambridge, 1958).
Marie Boas Hall, *Robert Boyle on Natural Philosophy* (Indiana University Press, Bloomington, 1965).
Rupert Hall, *Isaac Newton* (Blackwell, Oxford, 1992).
Harold Hartley, *Humphry Davy* (Nelson, London, 1966).
Arthur Holmes, *Principles of Physical Geology* (Nelson, London, 1944).
Robert Hooke, *Micrographia* (Royal Society, London, 1665).
Robert Hooke, *The Posthumous Works of Robert Hooke* (ed. Richard Waller) (Royal Society, London, 1705).
Robert Hooke, *The Diary of Robert Hooke* (eds. Henry Robinson and Walter Adams) (Taylor & Francis, London, 1935).
Ken Houston (ed.), *Creators of Mathematics: the Irish connection* (University College Dublin Press, 2000).
Jonathan Howard, *Darwin* (OUP, Oxford, 1982).
Michael Hunter (ed.), *Robert Boyle Reconsidered* (CUP, Cambridge, 1994).
Hugo Iltis, *Life of Mendel* (Allen & Unwin, London, 1932).
John Imbrie and Katherine Palmer Imbrie, *Ice Ages* (Macmillan, London, 1979).
James Irons, *Autobiographical Sketch of James Croll, with memoir of his life and work* (Stanford, London, 1896).
Bence Jones, *Life & Letters of Faraday* (Longman, London, 1870).
L. J. Jordanova, *Lamarck* (OUP, Oxford, 1984).
Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation* (Jonathan Cape, London, 1979).
C. Jungnickel and R. McCormmach, *Cavendish: the experimental life* (Bucknell University Press, New Jersey, 1996).
F. B. Kedrov, *Kapitza: life and discoveries* (Mir, Moscow, 1984).
Hermann Kesten, *Copernicus and his World* (Martin Secker & Warburg, London, 1945).
Geoffrey Keynes, *A Bibliography of Dr Robert Hooke* (Clarendon Press, Oxford, 1960).
Desmond King-Hele, *Erasmus Darwin* (De La Mare, London, 1999).
David C. Knight, *Johannes Kepler and Planetary Motion* (Franklin Watts, New York, 1962).
W. Köppen and A. Wegener, *Die Klimate der Geologischen Vorzeit* (Borntraeger, Berlin, 1924).
Helge Kragh, *Quantum Generations* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1999).
Ulf Lagerkvist, *DNA Pioneers and Their Legacy* (Yale University Press, New Haven, 1998).

H. H. Lamb, *Climate: present, past and future* (Methuen, London, volume 1 1972, volume 1 1977).
E. Larsen, *An American in Europe* (Rider, New York, 1953).
A.-L. Lavoisier, *Elements of Chemistry*, translated by Robert Kerr (Dover, New York, 1965; facsimile of 1790 edition).
Cherry Lewis. *The Dating Game* (CUP, Cambridge, 2000).
James Lovelock, *Gaia* (OUP, Oxford, 1979).
James Lovelock, *The Ages of Gaia* (OUP, Oxford, 1988).
E. Lurie, *Louis Agassiz* (University of Chicago Press, 1960).
Charles Lyell, *Principles of Geology* (Penguin, London, 1997; originally published in three volumes by John Murray, London, 1830–33).
Charles Lyell, *Elements of Geology* (John Murray, London, 1838).
Katherine Lyell (ed.), *Life, Letters and Journals of Sir Charles Lyell, Bart.* (published in two volumes, John Murray, London, 1881).
Maclyn McCarty, *The Transforming Principle* (Norton, New York, 1985).
Douglas McKie, *Antoine Lavoisier* (Constable, London, 1952).
H. L. McKinney, *Wallace and Natural Selection* (Yale University Press, New Haven, 1972).
Frank Manuel, *Portrait of Isaac Newton* (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1968).
Ursula Marvin, *Continental Drift* (Smithsonian Institution, Washington DC, 1973).
James Clerk Maxwell, *The Scientific Papers of J. Clerk Maxwell* (ed. W. D. Niven) (CUP, Cambridge, 1890).
Jagdish Mehra, *Einstein, Physics and Reality* (World Scientific, Singapore, 1999).
Milutin Milankovitch, *Durch ferne Welten und Zeiten* (Köhler & Amalang, Leipzig, 1936).
Ruth Moore, *Niels Bohr* (MIT Press, Cambridge, MA 1985).
Yuval Ne'eman and Yoram Kirsh, *The Particle Hunters*, 2nd edn (CUP, Cambridge, 1996).
J. D. North, *The Measure of the Universe* (OUP, Oxford, 1965).
Robert Olby, *The Path to the Double Helix* (Macmillan, London, 1974).
C. D. O'Malley, *Andreas Vesalius of Brussels 1514–1564* (University of California Press, Berkeley, 1964).
Henry Osborn, *From the Greeks to Darwin* (Macmillan, New York, 1894).
Dorinda Outram, *Georges Couvier* (Manchester University Press, Manchester, 1984).
Dennis Overbye, *Einstein in Love* (Viking, New York, 2000).
H. G. Owen, *Atlas of Continental Displacement: 200 million years to the present* (CUP, Cambridge, 1983).

Abraham Pais, *Subtle is the Lord . . .* (OUP, Oxford, 1982).
Abraham Pais, *Inward Bound: of matter and forces in the physical world* (OUP, Oxford, 1986).
Linus Pauling and Peter Pauling, *Chemistry* (Freeman, San Francisco, 1975).
Samuel Pepys, *The Shorter Pepys* (selected and edited by Robert Latham; Penguin, London, 1987).
Roger Pilkington, *Robert Boyle: father of chemistry* (John Murray, London, 1959).
John Playfair, *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth* (facsimile reprint of the 1802 edition, with an introduction by George White) (Dover, New York, 1956).
Franklin Portugal and Jack Cohen, *A Century of DNA* (MIT Press, Cambridge, MA, 1977).
Lawrence Principe, *The Aspiring Adept* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1998).
Bernard Pullman, *The Atom in the History of Human Thought* (OUP, Oxford, 1998).
Lewis Pyenson and Susan Sheets-Pyenson, *Servants of Nature* (HarperCollins, London, 1999).
Susan Quinn, *Marie Curie* (Heinemann, London, 1995).
Peter Raby, *Alfred Russel Wallace* (Chatto & Windus, London, 2001).
Charles E. Raven, *John Ray* (CUP, Cambridge, 1950).
James Reston, *Galileo* (Cassell, London, 1994).
Colin A. Ronan, *The Cambridge Illustrated History of the World's Science* (CUP, Cambridge, 1983).
S. Rozental (ed.), *Niels Bohr* (North-Holland, Amsterdam, 1967).
Jósef Rudnicki, *Nicholas Copernicus* (Copernicus Quatercentenary Celebration Committee, London, 1943).
Anne Sayre, *Rosalind Franklin & DNA* (Norton, New York, 1978).
Stephen Schneider and Randi Londer, *The Coevolution of Climate & Life* (Sierra Club, San Francisco, 1984).
Erwin Schrödinger, *What is Life?* and *Mind and Matter* (CUP, Cambridge, 1967) (collected edition of two books originally published separately in, respectively, 1944 and 1958).
J. F. Scott, *The Scientific Work of René Descartes* (Taylor & Francis, London, 1952).
Steven Shapin, *The Scientific Revolution* (University of Chicago Press, London, 1966).
John Stachel (ed.), *Einstein's Miraculous Year* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1998).

Frans A. Stafleu, *Linnaeus and the Linneans* (A. Oosthoek's Uitgeversmaatschappij NV, Utrecht, 1971).
Tom Standage, *The Neptune File* (Allen Lane, London, 2000).
G. P. Thomson, *J. J. Thomson* (Nelson, London, 1964).
J. J. Thomson, *Recollections and Reflections* (Bell & Sons, London, 1936).
Norman Thrower (ed.), *The Three Voyages of Edmond Halley* (Hakluyt Society, London, 1980).
Conrad von Uffenbach, *London in 1710* (trans. and ed. W. H. Quarrell and Margaret Mare) (Faber & Faber, London, 1934).
Alfred Russel Wallace, *My Life* (Chapman & Hall, London; originally published in two volumes, 1905; revised single-volume edition 1908).
James Watson, 'The Double Helix', in Gunther Stent (ed.), *The Double Helix* 'critical edition' (Weidenfeld & Nicolson, London, 1981).
Alfred Wegener, *The Origin of Continents and Oceans* (Methuen, London, 1967) (translation of the fourth German edition, published in 1929).
Richard Westfall, *Never at Rest: a biography of Isaac Newton* (CUP, Cambridge, 1980).
Richard Westfall, *The Life of Isaac Newton* (CUP, Cambridge, 1993) (this is a shortened and more readable version of *Never at Rest*).
Michael White: *Isaac Newton: the last sorcerer* (Fourth Estate, London, 1997).
Michael White and John Gribbin, *Einstein: a life in science* (Simon & Schuster, London, 1993).
Michael White and John Gribbin, *Darwin: a life in science* (Simon & Schuster, London, 1995).
A. N. Whitehead, *Science and the Modern World* (CUP, Cambridge, 1927).
Peter Whitfield, *Landmarks in Western Science* (British Library, London, 1999).
L. P. Williams, *Michael Faraday* (Chapman, London, 1965).
David Wilson, *Rutherford* (Hodder & Stoughton, London, 1983).
Edmund Wilson, *The Cell in Development and Inheritance* (Macmillan, New York, 1896).
Leonard Wilson, *Charles Lyell* (Yale University Press, New Haven, 1972).
Thomas Wright, *An Original Theory of the Universe* (Chapelle, London, 1750) (facsimile edition, edited by Michael Hoskin, Macdonald, London, 1971).
W. B. Yeats, 'Among School Children' in, for example, *Selected Poetry* (ed. Timothy Webb) (Penguin, London, 1991).
David Young, *The Discovery of Evolution* (CUP, Cambridge, 1992).
Arthur Zajonc, *Catching the Light* (Bantam, London, 1993).

المؤلف في سطور

جون غريبين

* من أعظم وأشهر كتاب العلم بأسلوب روائي شائق ومبسط.
* مؤلف أكثر الكتب مبيعا.

* **من مؤلفاته:**
  - البحث عن قط شرودنجر.
  - الغبار النجمي.
  - البساطة فى أعمق حالاتها.
* أثار الإعجاب بقدرته الفائقة على تبسيط أعقد الأفكار.
* تدرب ليكون عالم فيزياء فلكية بجامعة كيمبريدج.
* هو الآن زميل زائر في علم الفلك بجامعة ساسيكس.
* يملك قدرة على جعل المفاهيم العلمية ذائقة ومفهومة لدى غير المختصين مع إثارة حس الدهشة بغرابة الكون دون الإخلال بدقة المعلومات العلمية الجوهرية.

المترجم في سطور

شوقي جلال

* من مواليد 30 أكتوبر 1931 - القاهرة.
* عضو المجلس الأعلى للثقافة في القاهرة - لجنة الترجمة منذ 1989م.
* عضو المجلس الأعلى للمعهد العالي العربي للترجمة، جامعة الدول العربية - الجزائر.
* عضو المجلس الأعلى للثقافة في القاهرة - لجنة قاموس علم النفس في السبعينيات.
* حاصل على جائزة مؤسسة الكويت للتقدم العلمي - فرع الترجمة 1985م.
* له ثلاثة عشر مؤلفا من بينها: أركيولوجيا العقل العربي، التراث والتاريخ، الفكر العربي وسوسيولوجيا الفشل، المجتمع المدني وثقافة الإصلاح: رؤية نقدية للفكر العربي، الترجمة في العالم العربي: الواقع والتحدي.

* لـــه أوراق بحث فـــي ندوات ومؤتمرات ومقـــالات ثقافية فكرية في الصحف والمجلات العربية.

* لـــه أكثر مـــن 50 كتابا مترجما منها: «المســـيح يصلـــب من جديد» (رواية، نيكوس كازانتزاكيس)، «الثقافات وقيم التقدم» (مجموعة من العلماء)، «فكرة الثقافة» (تأليف تيري إيغلتون) و«لماذا العلم» (تأليف جيمس تريفيل).

* ترجم لسلسلة عالم المعرفة عددا من الكتب منها: أفريقيا في عصر التحول الاجتماعي، بنية الثورات العلمية، تشكيل العقل الحديث، لماذا ينفرد الإنســـان بالثقافة، بعيدا عن اليســـار واليمين، التنمية حرية، جغرافية الفكر، الثقافة والمعرفة البشرية، التنوير الآتي من الشرق.

* راجع عددا من كتب السلسلة أيضا.

سلسلة عالم المعرفة

«عالم المعرفة» سلسلة كتب ثقافية تصدر في مطلع كل شهر ميلادي عن المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - دولة الكويت - وقد صدر العدد الأول منها في شهر يناير العام 1978.

تهدف هذه السلسلة إلى تزويد القارئ بمادة جيدة من الثقافة تغطي جميع فروع المعرفة، وكذلك ربطه بأحدث التيارات الفكرية والثقافية المعاصرة. ومن الموضوعات التي تعالجها تأليفا وترجمة:

1 - الدراسات الإنسانية: تاريخ ـ فلسفة - أدب الرحلات - الدراسات الحضارية - تاريخ الأفكار.

2 - العلوم الاجتماعية: اجتماع - اقتصاد - سياسة - علم نفس - جغرافيا - تخطيط - دراسات استراتيجية - مستقبليات.

3 - الدراسات الأدبية واللغوية : الأدب العربي - الآداب العالمية - علم اللغة.

4 - الدراسات الفنية: علم الجمال وفلسفة الفن - المسرح - الموسيقى - الفنون التشكيلية والفنون الشعبية.

5 - الدراسات العلمية: تاريخ العلم وفلسفته، تبسيط العلوم الطبيعية (فيزياء، كيمياء، علم الحياة، فلك) ـ الرياضيات التطبيقية (مع الاهتمام بالجوانب الإنسانية لهذه العلوم)، والدراسات التكنولوجية.

أما بالنسبة إلى نشر الأعمال الإبداعية ـ المترجمة أو المؤلفة ـ من شعر وقصة ومسرحية، وكذلك الأعمال المتعلقة بشخصية واحدة بعينها فهذا أمر غير وارد في الوقت الحالي.

وتحرص سلسلة «عالم المعرفة» على أن تكون الأعمال المترجمة حديثة النشر.

وترحب السلسلة باقتراحات التأليف والترجمة المقدمة من المتخصصين، على ألا يزيد حجمها على 350 صفحة من القطع المتوسط، وأن تكون مصحوبة بنبذة وافية عن الكتاب وموضوعاته

هذا الكتاب

موسـوعة موجزة من جزأين تحكي - في تسلسـل زمني بأسلوب روائي شـائق، ولغـة علمية دقيقة وسـهلة - تاريخ تطور العلم وحيـاة العلماء في سـياق العصر الحديث على مدى خمسة قرون، من النشأة في الغرب وحتى العام 2001، مع فصل ختامي عن المسـتقبل. ويحكي الكتاب طبيعة الصراع الاجتماعـي بين التقليد، من حيث النظرة إلى العالم، والموقف الرافض لحق البحث والتغيير، وبين التجديد والإيمان بحق الإنسـان/ المجتمع في البحث العلمـي والإبداع والتماس آفاق غير تقليدية للمعرفة، والتحرر من مشـاعر الدونيـة والتبعية تجاه الأقدمين والجمود عنـد حدودهم، مع بيان كيف أن هذا التحرر كان، مثلما هو دائما، أسـاس التقدم وامتلاك الإنسان لمصيره، بـل والهيمنة علـى مقدراته. ويعرض كيف عانى دعـاة التجديد من الاتهام بالكفر والزندقة.

والمؤلف أحد كبار الكتاب العلميين المعنيين بتبسـيط العلم، وله مؤلفات واسـعة الانتشار أثارت الإعجاب بقدرته الفائقة على تبسيط أعقد الأفكار، مع إثارة حس الدهشة بغرابة الكون لدى القارئ.

ويسـد الكتاب فراغا ثقافيا في المكتبة العربية، ويمثل إسـهاما تنويريا واقعيـا بعيـدا عـن الرومانسـية، إذ يوضح طبيعـة روح العصـر... العلم والتكنولوجيـا. ويعرض بإيجاز، وفي صورة تاريخيـة متكاملة، ملحمة العلم وانتصار العقل العلمي في سياق التاريخ الحديث الذي هو حلقة في سلسلة ممتدة بامتداد تاريخ الحضارات المختلفة.

ويقدم الكتاب إطلالة على طبيعة النشاط العلمي والمعاناة من أجل العلم، والجدوى الاجتماعية والثقافية والاقتصادية بل والسياسية للنهضة العلمية، ومردود ذلك في الوعي بالذات إنسـانا فردا، ومجتمعا كاملا موحدا، وأفقا رحبا نرنو إليه على الطريق إلى مستقبل جديد لعقل عربي جديد.

ISBN 978 - 99906 - 0 - 365 - 1
رقم الإيداع (2012/340)